

الجيولوجيا
الفيزيائية
عملي (معادن - صخور)
الدكتور خالد بن إبراهيم التركي
جامعة الملك سعود
عمادة شؤون المكتبات



سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

الجيولوجيا الفيزيائية

عملي (معادن ـ صخور)

تأليـــف

الدكتور خالد بن إبراهيم التركي

أستاذ مشارك

قسم الجيولوجيا ـ كلية العلوم

جامعة الملك سعود



عمـادة شـؤون المكتبـات ـ جـامعـة الملك سعـو

ص.ب ٢٢٤٨٠ ـ الرياض ١١٤٩٥ ـ المملكة العربية السعود

الطبعة الأولى ١٤١٢هـ (١٩٩٢م).
الطبعة الثانية ١٤١٦هـ (١٩٩٥م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية
التركي، خالد بن إبراهيم
الجيولوجيا الفيزيائية: عملي (معادن وصخور). - ط٢.
١٢٣ص؛ ٢١ × ٢٨سم
ردمك X - ٢٤٦ - ٠٥ - ٩٩٦٠ (جلد)
٨ - ٢٤٧ - ٠٥ - ٩٩٦٠ (غلاف)
١ - فيزياء الأرض ٢ - المعادن ٣ - الصخور (أ) - العنوان
ديوي ٥٥١ ١٥/٣٧١٩

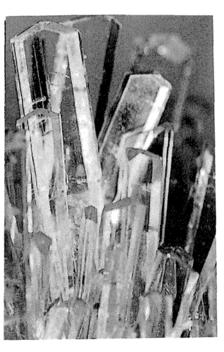
رقم الإيداع: ١٥/٣٧١٩

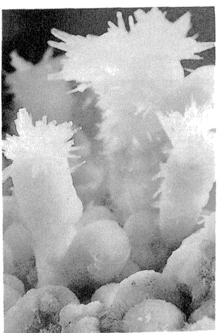
حكّمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكّلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره في اجتماعه الثاني والعشرين للعام الدراسي ١٤٠٨/١٤٠٩هـ، الذي عُقد بتاريخ ١٤٠٩/١١/٢٥هـ الموافق ١٩٨٩/٦/٢٨م ثم وافق المجلس على إعادة طباعته في اجتماعه الثامن عشر للعام الدراسي ١٤١٥هـ/١٤١٦هـ الذي عُقد بتاريخ ١٤١٥/١١/٩هـ الموافق ١٩٩٥/٤/٩م.

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٦هـ

المحتويـات

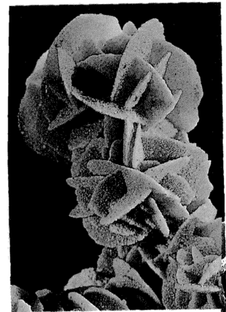
صفحة





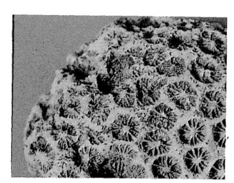
صفحة

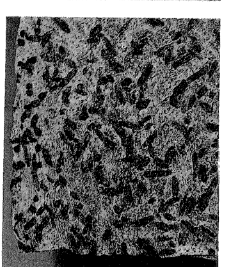




صفحة



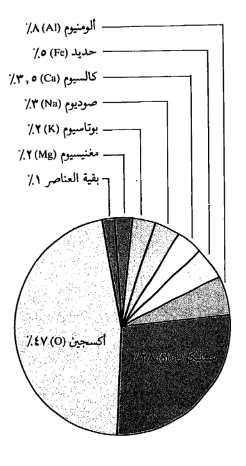




المقدمة

مكونات القشرة الأرضية
Materials of the Earth Crust

تعتبر الصخور على اختلاف أنواعها (نارية ـ متحولة ـ رسوبية) المكونات الأساسية للقشرة الأرضية. . كما أن المعادن البالغ عددها الآن أكثر من ثلاثة آلاف معدن، هي وحدات التركيب الأساسية لأنواع الصخور كافة، بمعنى أن أي صخر من صخور القشرة الأرضية يتركب عادة من أكثر من معدن، وإن كان من الصخور ما يتركب من معدن واحد، وعلى الرغم من أن العناصر التي تدخل في تركيب صخور القشرة الأرضية عديدة، إلا أن هناك عشرة عناصر أساسية تكوّن ما يقارب ٩٩,٣٤٪ من تركيب القشرة.



شكل رقم (١). متوسط النسب المئوية للعناصر الرئيسة المكونة للقشرة الأرضية

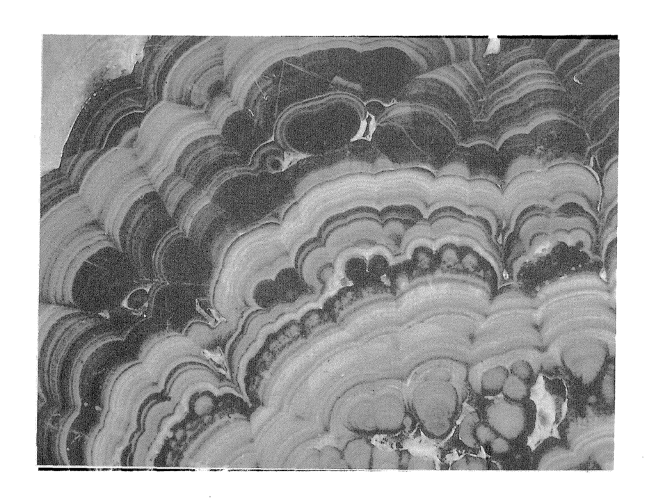
من الجدول رقم (١) يتضح أيضًا أن عنصر الأكسجين هو أكثرها انتشارًا في تركيب القشرة الأرضية. . وهذا لا يعني أنه يوجد حرًا طليقًا فيها، بل يوجد متحدًا كيميائيًا مع عناصر أخرى ليكوّن معادن كثيرة منها الأكاسيد، والسيليكات وغيرها. ومن المعروف أن العناصر المبينة بالجدول كافة عبارة عن فلزات فيما عدا الأكسجين والهيدروجين. أما الألومنيوم والسليكون فلهما خصائص غريبة ومركبات تضعهما بين الفلزات وأشباه الفلزات.

جدول رقم (١). جدول يوضح متوسط النسب المئوية للعناصر المكونة لصخور القشرة الأرضية وأكاسيدها

عناصر			أكاسيد		
الأكسجين	O	٤٦,٧١	أكسيد السيليكون	SiO_2	٥٩,١٧
السيليكون	Si	٢٧,٦٩	أكسيد الألومنيوم	Al_2O_3	١٥,٢٢
الألومنيوم	Al	٨,٠٧	أكسيد الحديد	FeO	٦,٨٦
الحديد	Fe	٥,٠٥	أكسيد الكلسيوم	CaO	٥,١٠
الكلسيوم	Ca	٣,٦٥	أكسيد الصوديوم	Na_2O	٣,٧١
الصوديوم	Na	٢,٧٥	أكسيد البوتاسيوم	K_2O	٣,١١
البوتاسيوم	K	٢,٥٨	أكسيد المغنسيوم	MgO	٣,٤٥
المغنسيوم	Mg	٢,٠٨	أكسيد التيتانيوم	TiO_2	١,٠٣
التيتانيوم	Ti	٠,٦٢	الماء	H_2O	١,٣٠
الهيدروجين	H	٠,١٤			
المجموع		٩٩,٣٤	المجموع		٩٨,٩٥

الفصل الأول

المعادن Minerals



الخصائص الطبيعية للمعادن

- الخصائص البصرية
- الخصائص التماسكية
- الخصائص الحسية
- الثقل النوعي
- خصائـص أخـرى

التصنيف العام للمعادن

- مجموعة المعادن العنصرية (الحرة)
- مجموعة معادن الأكاسيد
- مجموعة معادن الكبريتات
- مجموعة معادن الفوسفات
- مجموعة معادن الكبريتيدات
- مجموعة معادن الهاليدات
- مجموعة معادن الكربونات
- مجموعة معادن السيليكات

المعادن Minerals

يعرف المعدن عمومًا بأنه مادة صلبة طبيعية تكونت بطريقة غير عضوية عادة ذات تركيب كيميائي محدد وترتيب ذري داخلي مميز تجعلان له خصائص فيزيائية مميزة... . وله غالبًا شكل بلوري يظهر على السطح الخارجي في هيئة قوالب أو أشكال هندسية.

من التعريف يتضح أن هناك أربعة عوامل أساسية تحدد طبيعة المعدن واسمه وهي :

١ ـ يجب أن تكون مادته طبيعية وتكونت بطرق غير عضوية غالبًا.
٢ ـ يجب أن تكون مادته صلبة وإن كان الماء يعتبر معدنًا سائلاً.
٣ ـ يجب أن يكون له بناء بلوري منتظم.
٤ ـ يجب أن يكون له تركيب كيميائي ثابت أو متغير في حدود ضيقة.

واعتمادًا على هذه الصفات، يتم استبعاد كلا من البترول والغاز الطبيعي من قائمة المعادن حيث إنهما عبارة عن مركبات عديدة ليس لها بلورات. كما يتم أيضًا استبعاد أي مادة صلبة متبلورة يتم تحضيرها في المعمل لأنها ستعتبر مركبًا كيميائيًا وليست معدنًا طبيعيًّا (معادن صناعية)، كما نلاحظ أن التركيب الكيميائي بمفرده وإن كان مميزًا إلا أنه غير كافٍ لتحديد شخصية المعدن؛ فمثلاً تجد أن كربونات الكالسيوم، $Ca\ CO_3$ عندما يتم تبلورها في الطبيعة، تنتج معدنين لهما التركيب الكيميائي نفسه ولكنهما يختلفان في البناء البلوري، وهما الأراجونايت Aragonite والكالسيت Calcite ويختلفان في كثير من الصفات الطبيعية ـ (اللون Colour ، والصلادة Hardness ، والبريق Luster ، والمخدش Streak) نظرًا لأن ذرات المعدنين مرتبة ترتيبًا مختلفًا. لذا، نجد أن التعريف نص صراحة على أنه يجب أن يكون هناك بناء بلوري خاص لكل معدن.

وكما أشرنا سابقًا، هناك حاليًا قرابة ثلاثة آلاف معدن في الطبيعة أمكن التعرف عليها ومن الصعب الإلمام بها جميعًا. وللتعرف على المعدن، يجب إجراء العديد من التجارب والتحاليل وتسجيل الكثير من الملاحظات عن خصائصه الطبيعية ولتحقيق ذلك، لابد لنا من الإلمام

أولاً ببعض هذه الخصائص فنجد مثلاً أن لكل معدن صفة أو مجموعة من الصفات التي يتميز بها عن غيره فالكربون مثلاً يوجد في الطبيعة في هيئة الماس Diamond ، وكذلك في هيئة جرافيت Graphite. فالأول شفاف ويعتبر أصلد المعادن. . بينما الأخير أسود اللون ومن أقلها صلادة.

الخصائص الطبيعية للمعادن Physical Properties of Minerals

يمكن إيجاز الخصائص الطبيعية للمعادن على النحو التالي:

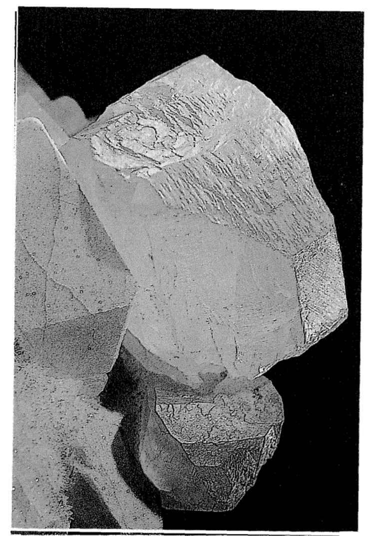
- ***الخصائص البصرية Optical properties:*** وهي عدة صفات تعتمد أساسًا على انعكاس أو امتصاص الضوء على سطح المعدن مثل: اللون Colour ، والمخدش (المحك) Streak ، والبريق Luster ، والشفافية Diaphaneity . . . الخ.
- ***الخصائص التماسكية Cohesive properties:*** هي مجموعة من الصفات تعتمد أساسًا على مقدار وكيفية تماسك جزيئات المعدن أو ذراته مثل:
(الصلابة) الصلادة Hardness ، والانفصام (التشقق) Cleavage ، والانفصال Parting ، والمكسر Fracture ، والتماسكية Tenacity.
- ***الخصائص الحسية Sense properties:*** وهي عدة صفات تعتمد على حواس الإنسان مثل:
الملمس Touch ، والرائحة Odour ، والمذاق (الطعم) Taste . . . الخ.
- ***الثقل النوعي Specific gravity:*** تعتمد هذه الخاصية أساسًا على الكيفية التي تم بها رص وترابط جزيئات المعدن وذراته بالإضافة إلى أوزانها الذرية.
- ***خصائص أخرى Other properties:*** مثل:
المغناطيسية Magnetism ، والكهربية Electricity ، والإشعاعية Radioactivity ، والإنصهارية (الحرارية) Fusibility والذوبان في الماء Solubility.

أولاً: الخصائص البصرية Optical Properties

١ ـ اللون Colour

يعتبر اللون من الصفات الطبيعية التي تساعد في التعرف على المعادن، وخاصة المعادن الفلزية ولكن في بعض الأحيان لا يمكن الاعتماد على اللون كصفة ثابتة للمعادن خاصة في المعادن اللافلزية، حيث يتم تحديد لون المعدن على أساس مظهري (فاتح ـ قاتم). واللون

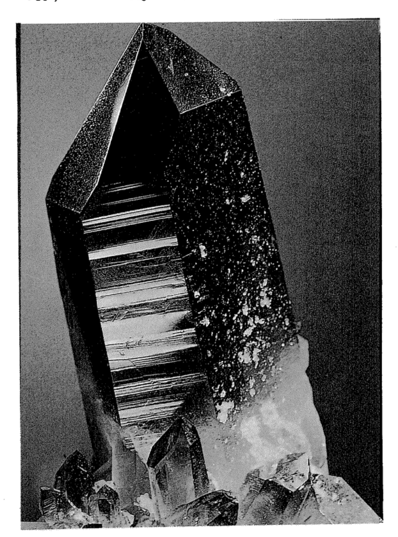
نوعان: فهناك اللون المتأصل (الثابت) Inherent ، وهو الذي يعتمد على التركيب العام للمعدن (اللون الأحمر للنحاس Copper ، الأخضر للملاكيت Malachite ، الأصفر للذهب Gold) ؛ وهناك اللون الدخيل Exotic ، وهو الذي يعتمد على وجود وانتشار بعض المواد الملونة أو الدخيلة سواء على هيئة شوائب أو مكتنفات Pigments or inclusions في المعدن ، مثل الكوارتز Quartz الذي يكون عادة عديم اللون Colourless ، ويوجد أيضًا باللون البنفسجي (أماثيست Amethyst) لاحتوائه على آثار من التيتانيوم ، أو باللون الأحمر (جسبر Jasper) لاحتوائه على آثار من الحديد.



الكبريت (Medenbach & Wilk, 1986)

ويعزى لون أي معدن إلى مقدرة ذلك المعدن على امتصاص بعض مكونات الضوء الأبيض العادي وتشتيت البعض الآخر؛ فمعدن الكبريت Sulphur مثلاً يبدو أصفر اللون لأنه يعكس الأشعة الصفراء، من مجموعة الألوان المكونة للضوء الأبيض؛ أما المعدن الأسود اللون، مثل معدن الماجنيتايت Magnetite ، فإنه يمتص جميع ألوان الطيف.

وهناك بعض المعادن التي لها ألوان متأصلة، وتسمى ثابتة اللون، أو اديوكروماتيك Idiochromatic ، مثل الكورندم الأزرق (الياقوت الأزرق Sapphire)، والكورندم الأحمر (الياقوت الأحمر Ruby)، والجالينا Galena الرمادية. أما المعادن المتعددة الألوان فتسمى اللوكروماتيك allochromatic ، ومنها الفلورايت Fluorite (أزرق -



كوارتز مدخن (Medenbach & Wilk, 1986)

كوارتز حليبي (Medenbach & Wilk, 1986)

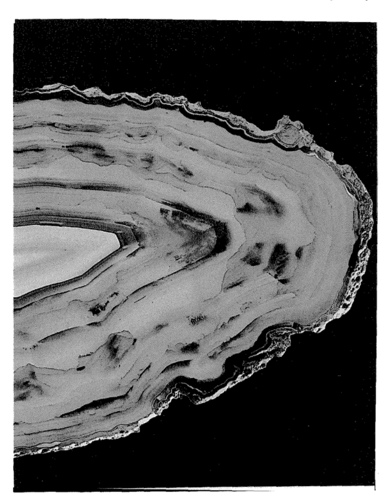
أصفر ـ أخضر ـ وردي). كما أن انتشار الشوائب أو المكتنفات قد يتم إما بشكل منتظم في المعدن أو بشكل غير منتظم على هيئة بقع أو نقط كما هو الحال في الياقوت الأزرق، أو في هيئة طبقات أو أحزمة، كما هو الحال في معدن العقيق Agate الذي يعتبر نوعًا من أنواع الكوارتز المستتر التبلور Cryptocrystalline.

وهنـاك بعض الظواهر الخاصة باللون تميز أحيانًا عددًا قليلاً من المعادن مثل:

أ) ***ظاهرة تلاعب الألوان Play of colours:*** وهي عبارة عن تغير لون المعـدن نتيجـة لتغـير زاوية سقـوط الضـوء عليه، أو الانعكاس الانتقائي الذي يقوم به، أو لكليهما معا كما هو الحال في معدن الألماس Diamond.

ب) ظاهـرة تغـير الألوان ***Change of colours***: يمكن رؤية هذه الظاهرة في بعض أنواع معادن الفلسبار (اللابرادورايت Labradorite)، إذ يعطي المعدن عند تحريكه أمام العين الألوان الزرقاء والخضراء والحمراء، وذلك نتيجة تداخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية تحتوي على صفائح رقيقة من معادن أخرى يكتنفها المعدن.

ج) ظاهرة التضوء أو التألق ***Luminescence***: تظهر هذه الخاصية إذا تعرض المعدن، خاصة في الظلام، لطاقة خارجية (كهربية ـ حرارية ـ احتكاكية أو للأشعة فوق البنفسجية)؛ عندها يصدر المعدن ضوءًا وهاجًا باهرًا بلون معين يختلف عن لونه الأصلي، فمثلًا يصدر معدن الكالسيت Calcite ضوءًا أحمر متوهجًا عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية.



العقيق (Medenbach & Wilk, 1986)

أماثيست (Medenbach & Wilk, 1986)



والتضوء نوعان:

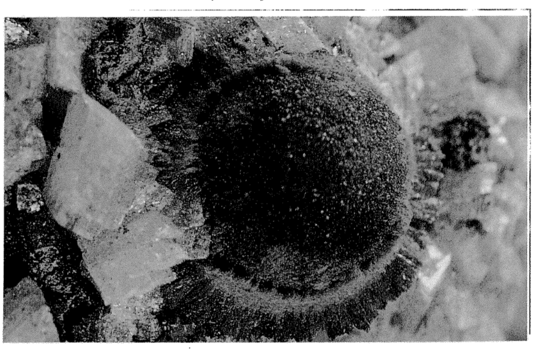
- التفلور Fluorescence حيث يتضوء المعدن في أثناء تعرضه للمؤثر الخارجي فقط، ثم يزول التضوء بزوال المؤثر الخارجي كما هو الحال بالنسبة لمعدن الفلورايت الذي يتضوء بلون وهّاج يختلف عن لونه الأصلي عند وضعه على قرص حديدي ساخن.
- التفسفر Phosphorescence وهنا يستمر تضوء المعدن حتى بعد زوال المؤثر الخارجي؛ مثال ذلك الأحجار الكريمة (الألماس - الياقوت) التي تتضوء بعد تعرّضِها للأشعة السينية (X-Ray).

د) *التصدؤ* ***Tarnish:*** تظهر هذه الخاصية بوضوح في معدن الكالكوبايرايت Chalcopyrite حيث تغطي القشرة الخارجية للمعدن أو سطحه الخارجي نواتج أكسدة ذات ألوان مختلفة عن لون المعدن الأصلي.

هـ) *خاصية عين الهر* ***Chatoyancy:*** تنتج هذه الخاصية من اختلاف الانعكاسات الضوئية على سطوح المعادن الليفية، فتظهر المعادن في لون متوهج يخطف البصر ويختلف باختلاف زاوية الرؤية فيشبه بذلك بريق عين الهر Cat's eye (أزرق) وعين النمر Tiger's eye (بني ذهبي).

و) *ظاهرة اللألأة* ***Opalescence:*** تنتج هذه الخاصية عن انعكاسات ضوئية داخل المعدن نظرًا لوجود بعض الجزيئات المختلفة الترتيب، فيظهر المعدن باهر اللون إذا كان مصقولاً مثل حجر القمر Moonstone ؛ وخير مثال على هذا معدن الأوبال Opal.

الأزورايت (Medenbach & Wilk, 1986)



٢ - (المخدش) المحك Streak

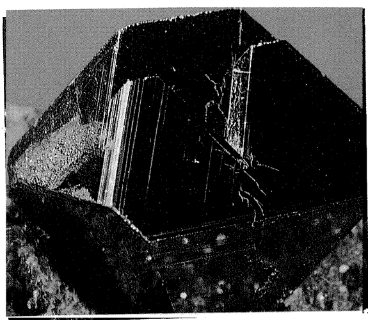
هو عبارة عن لون مسحوق المعدن. وبالإمكان التعرف على لون المسحوق بحك المعدن تحت الفحص على السطح غير المصقول لقطعة الخزف المعروفة باسم لوح المخدش Streak plate.

ومن المعروف أن صلادة قطعة الخزف حوالي (٦) وبالتالي يصعب فحص مخدش المعادن التي تزيد صلادتها عن ذلك بهذه الطريقة. كما أنه ليس من الضرورة أن يتشابه لون مسحوق المعدن مع لونه الطبيعي. فمثلاً نجد أن أكاسيد الحديد الثلاثة الرئيسة سوداء اللون ولكن لكل منها مخدشًا مميزًا؛ فالهيماتيت Hematite مخدشه أحمر طوبي، بينما نجد الماجنيتايت Magnetite لون مخدشه أسود، أما الجوثايت Goethite فمخدشه بني مصفر، وبالنسبة لبعض المعادن نجد أن هناك تطابقًا تامًا بين لون المخدش ولون المعدن نفسه كما هو الحال في كل من الجرافيت Graphite والملاكايت Malachite.

ومن الملاحظ أن معظم المعادن ذات البريق الفلزي لها مخدش لونه قاتم قد يختلف أحيانًا عن لون المعدن الأصلي. أما المعادن ذات البريق اللافلزي، فلها مخدش ذو لون أبيض أو فاتح. ولذا نجد أن خاصية المخدش ليست بالصفة التي يمكن الاعتماد عليها في التفريق بين المعادن ذات البريق اللافلزي، ولكنها أكثر فائدة عند التفريق بين المعادن ذات البريق الفلزي.



هيماتيت (Medenbach & Wilk, 1986)



ماجنيتايت (Medenbach & Wilk, 1986)

٣ ـ البريق «اللمعان» Luster

هو مظهر سطح المعدن في الضوء المنعكس، وتعتبر زاوية سقوط الضوء من العوامل التي تتحكم في كمية الضوء المنعكس، علاوة على صفات البلورة الانكسارية والانعكاسية. ومن الممكن تصنيف البريق على أساس كمية الضوء المنعكس على سطح المعدن على النحو التالي:

أ) *بريق باهر **Splendent**:* عندما تنعكس جميع الأشعة الساقطة عليه ويظهر سطح المعدن كالمرآة.

ب) *بريق ساطع **Shining**:* عندما يكون سطح المعدن أقل قدرة من سابقه على عكس الأشعة الضوئية.

ج) *بريق لامع **Glimmering**:* وهو بريق أقل درجة من النوع الساطع. ويمكن القول إن المعادن الفلزية Metallic minerals عادة لها بريق ساطع وتكون معتمة، بينما المعادن اللافلزية لها بريق ساطع أو ترابي، وتكون عادة شفافة.

وتنقسم المعادن جميعها تبعًا لخاصية البريق إلى قسمين رئيسين:

ا) معادن ذات بريق فلزي Metallic luster

ب) معادن ذات بريق لافلزي Non-metallic luster



بايرايت (Medenbach & Wilk, 1986)

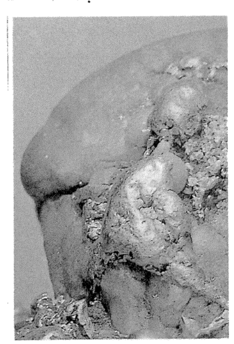
أ) ***البريق الفلزي Metallic luster***: هو البريق المماثل لبريق المعادن الفلزية الذي يشاهد في معادن الذهب Gold ، أو النحاس الحر Copper والجالينا Galena ، وهذه جميعها تعتبر من المعادن المعتمة .

أما البريق الذي يشاهد في كل من معدني الروتايل Rutile والكرومايت Chromite فهو بريق ضعيف، ويسمى البريق تحت الفلزي (Sub-metallic).

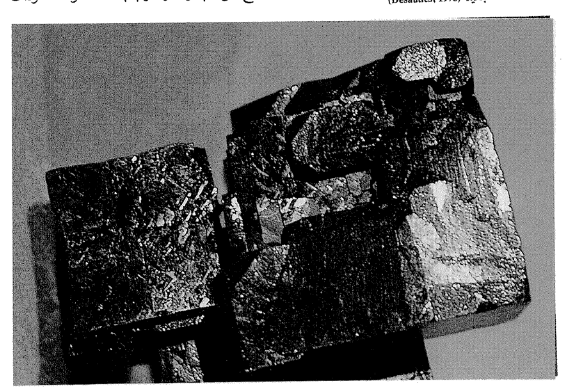
ب) ***البريق اللافلزي Non-metallic luster***: ينقسم هذا البريق إلى سبعة أنواع مختلفة هي :

- البريق **الماسي** Adamantine luster: مثل بريق معادن الكورندم والألماس والكبريت المتبلور، وتتميز معظم المعادن ذات البريق الماسي بصلادة عالية، وثقل نوعي مرتفع، ومعاملات انكسار عالية (١,٩ - ٢,٦).
- البريق **الزجاجي** Vitreous luster: يعتبر البريق الناتج عن الزجاج المكسور أفضل مثال لهذا النوع، ومن المعلوم أن حوالي ٧٠٪ من المعادن لها هذا النوع من البريق، وتمتاز بأنها شفافة ومنفذة وذات

ذهب (Desautles, 1974)



جالينا (Desautles, 1970)



معــامل انكسار يتراوح ما بين (١,٣ - ١,٩)، ومن أمثلتها بريق معـدني الكـوارتـز Quartz والتـوبـاز Topaz. أما معدن الكالسيت Calcite ، فبريقــه زجـاجي ضعيف، يمكن أن يطلق عليه تحت الزجاجي Sub-vitreous.

- البريق **الصمغي** (الراتنجي) Resinous luster: ويشبه بريق الصمغ، ومن أمثلته بريق بعض عينات الكبريت Sulphur وبريق السفاليرايت Sphalerite.
- البريق **اللؤلؤي** Pearly luster: ويشبه بريق اللؤلؤ قشور السمك، ومن أمثلته بريق معدني التلك Talc والجبس Gypsum.
- البريق **الحريري** Silky luster: ومن أمثلته بريق الجبس الليفي Stain spar والأسبستوس Asbestos.
- الـبريق **الـترابي** (القـاتم) Earthy (dull) luster: ومن أمثلتـه بريق الماجنيزايت Magnesite.
- البريق القاري أو **الزفتي** Pitchy luster: ومن أمثلته بريق البتشبلند Pitchblende.

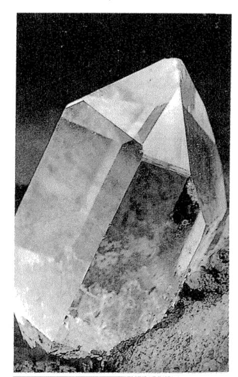
٤ ـ الشفافيـة Diaphaneity

تعبر هذه الخاصية عن مدى قدرة المعدن على إنفاذ الضوء، وعلى أساسها تنقسم المعادن إلى أنواع ثلاثة هي :

ا) **معــادن شفــافــة** Transparent minerals: وهي المعـادن التي تسمح برؤية الأجسام من خلالها بسهولة ووضوح، أي أنها تنفذ معظم الضـوء السـاقط عليهـا. ومن أمثلتهـا معدنا الكوارتز من نوع البلور الصخري (Rock crystal) والكالسيت (Calcite).

ب) **معــادن نصف شفــافة** Translucent minerals: وهي المعادن التي تنفـذ الضـوء بكمية أقـل من المعادن الشفافة، ولا تسمح برؤية الأجسـام من خلالهـا بسهـولـة ووضـوح، مثـل معـدني الكالسيدوني Chalcedony والفلورايت Fluorite.

ج) **معــادن معتمـة** Opaque minerals: وهي المعادن التي تمتص معـظم الضـوء السـاقط عليهـا ولا تسمـح له بالنفاذ حتى من خلال شرائحها الرفيعة، مثل معدني الهياتايت Hematite والجالينا Galena.



كوارتز (Medenbach & Wilk, 1986)

ثانيا: الخصائص التماسكية Cohesive Properties

هي عبارة عن مجموعة من الصفات التي تعتمد على قوة ترابط جزيئات المعدن أو ذراته، وتشمل كلا من الصلادة (الصلابة) والانفصام، والتشقق، والتماسك، والمكسر، والانفصال. . . الخ.

١ - (الصلادة) الصلابة Hardness

هي عبارة عن قوة المقاومة التي يبديها المعدن للخدش أو الحك أو التفتيت، ومن النادر أن تتشابه قوة معدنين في صلادتها. وقد اقترح العالم النمساوي فريدريك موهس Fredrich Mohs مقياسًا للصلادة باستخدام عشرة معادن رتبت على عشر درجات ثابتة (١-١٠) تميز كل درجة منها صلادة معدن معين، وقد شكلت هذه المعادن مقياس موهس للصلادة Mohs' scale of hardness، الموضح بالشكل رقم ٢.

وعمومًا يمكن القول إن مقدار التدرج في مقياس موهس للصلادة غير ثابت بين المعادن العشرة المذكورة، فمثلاً نجد أن الفرق بين درجة صلادة معدني الألماس والكورندم كبير جدًا، بعكس الفرق بين درجات صلادة المعادن المستخدمة في أول المقياس، وغالبًا نستطيع أن نحدد مدى الصلادة التقريبي كالآتي:

ظفر الإصبع ويخدش حتى صلابة ٢,٥ - قطعة النقود النحاسية حتى ٣,٥ - قطعة الزجاج حتى ٥,٥ - ونصل السكين حتى ٦,٥.

فإن أمكن خدش أي معدن مجهول الصلادة بأي وسيلة من الوسائل السابقة تكون صلادة هذا المعدن المجهول أقل من صلادة المادة التي خدش بها؛ وبعد تحديد المدى التقريبي، يمكن اختبار المعدن المناسب من مقياس موهس لتحديد صلادة المعدن المجهول بصورة أكثر دقة.

المعدن		تركيبه الكيميائي	درجة الصلادة	الصلادة النسبية
التلك	Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	١	الأضعف — يخدش بظفر الأصبع — يخدش بقطعة نقود — يخدش بنصل سكين صلب
الجبس	Gypsum	$CaSO_4 2H_2O$	٢	
الكالسيت	Calcite	$CaCO_3$	٣	
الفلورايت	Fluorite	CaF_2	٤	
الاباتيت	Apatite	$Ca_5F(PO_4)_3$	٥	أقوى من الصلب
الأورثوكليز	Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	٦	
الكوارتز	Quartz	SiO_2	٧	
التوباز	Topaz	$AlSiO_4(F.OH)_2$	٨	
الكورندوم	Corundum	Al_2O_3	٩	
الألماس	Diamond	C	١٠	الأقوى

شكل رقم (٢). لوحة توضيحية لدرجات الصلادة ومقياس موهس

وعلى وجه العموم يمكن القول إن خاصية الصلادة بالنسبة للمعادن تعتبر من الخصائص الطبيعية المهمة التي تساعد على معرفة هوية المعدن، هذا وقد سبق القول إنه من النادر أن يتشابه معدنان في مقدار الصلادة، إلا إن التغير الذي يطرأ على تركيب المعدن قد يتسبب في زيادة درجة صلادته أو نقصها عن الحد المعروف. كما تؤثر عمليات التجوية المختلفة على صلادة المعادن، ولذلك يشترط إجراء اختبار الصلادة على الأسطح الحديثة (غير المجواة)، كما يفضل عدم اختبار سطح محبب لإجراء اختبار الصلادة، حيث إن ذلك قد يؤدي إلى تفتيت تلك الحبيبات وإعطاء مخدش كاذب كما هو الحال بالنسبة لمعدن الأوليفين الذي يوجد غالبًا في هيئة كتل حبيبية صغيرة، كما يجب اتخاذ الحرص اللازم عند اختبار صلادة معدن ما باستخدام أحد معادن مقياس موهس والتأكد من لون المسحوق الناتج عن الخدش وأي المعدنين كان هو المخدوش.

وجدير بالذكر أن بعض المعادن قد تعطي صلادة مختلفة وفقًا لاتجاه الخدش فيها، وتسمى هذه الخاصية عدم تجاهي الصلادة Hardness Anisotropy. ومن أمثلتها معدن الكيانايت Kyanite الذي نجد أن صلادته (٤ ـ ٥) تقريبًا في اتجاه طول البلورة (C-axis)، و(٦ ـ ٧) في الاتجاه العمودي عليه (B-axis).

٢ ـ الانفصام (التشقق) Cleavage

هو عبارة عن قابلية المعادن لأن تنفصل أو تتفتت أو تنقسم عند مستويات معينة منتظمة ومتوازية وذلك عند طرقها عموديًا طرقًا خفيفًا، وعادة ما تكون الأسطح الناتجة عن هذا الانفصام مستوية تقريبًا، ويطلق عليها مستويات الانفصام أو التشقق Cleavage planes. وينتج الانفصام عن كيفية رص الذرات وقوة ترابطها. وترتبط اتجاهات مستويات الانفصام ارتباطًا وثيقًا بالبناء الذري لبلورة المعدن، فتكون موازية لمستويات ترابط ضعيفة أو لعدة مستويات بلورية محددة في المعدن. ويكون الانفصام تبعًا لدرجة كماله وسهولته على نوعين هما:

ا ـ الانفصام الجيد (الواضح) Perfect cleavage

ب ـ الانفصام غير الجيد (غير الواضح) Imperfect cleavage

وتختلف اتجاهات مستويات الانفصام (التشقق) في كل معدن عن الآخر، وغالبًا ما نجد المعادن تنفصم في عدد مختلف من المستويات كما هو موضح بالجدول رقم (٢) والشكل رقم (٣).

جدول رقم (٢).

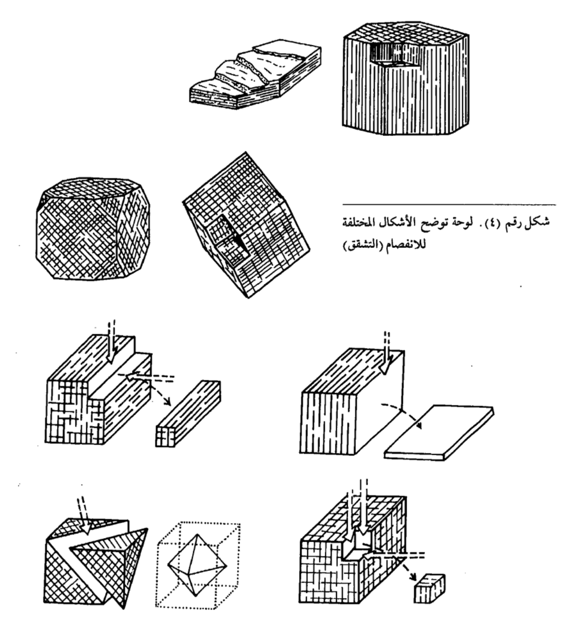
عدد مستويات الانفصام	المثـال
مستوى انفصام أحادي	مسكوفايت
مستوى انفصام ثنائي متعامدة	فلسبار
مستوى انفصام ثنائي غير متعامدة	هورنبلند
مستوى انفصام ثلاثي متعامدة	هاليت
مستوى انفصام ثلاثي غير متعامدة	كالسيت
مستويات انفصام ثمانية	فلورايت
مستويات انفصام سداسية	سفاليرايت
عديمة الانفصام	كوارتز / أوليفين

شكل رقم (٣). لوحة توضح مستويات الانفصام في بلورات المعادن

عدد مستويات الانفصام	المثـال	الشكـــل
مستوى انفصام أحادي	مسكوفايت	
مستوى انفصام ثنائي متعامدة	فلسبار	
مستوى انفصام ثنائي غير متعامدة	هورنبلند	
مستوى انفصام ثلاثي غير متعامدة	كالسيت	
مستوى انفصام ثلاثي متعامدة	هاليت	
مستويات انفصام ثمانية	فلورايت	
مستويات انفصام سداسية	سفاليرايت	
لا توجـــــد	كوارتز / أوليفين	

٣ ـ الانفصال Parting

هي خاصية تفتت أو تكسر المعدن إلى أجزاء صغيرة عند مستويات ضعف في بلورة المعـدن وليس لها علاقـة بالبنـاء البلوري الـداخـلي للمعـدن. وتنتـج هذه المستويات عادة عن عوامل خارجية تعرض لها المعدن بعد تبلوره مثل الضغط والإجهاد؛ وليس من الضرورة أن تظهر جميع بلورات المعـادن مستويات الضعف هذه، فقد تظهر في بلورات معـدن تكـون في منطقة ما، بينما لا تظهر هذه المستويات في بلورات المعدن نفسه إذا تكوّن في منطقة أخرى (شكل رقم ٤).



شكل رقم (٤). لوحة توضح الأشكال المختلفة للانفصام (التشقق)

٤ ـ المكسر Fracture

هو عبارة عن الشكل الذي يظهر على سطح المعدن عند كسره صناعيًّا في اتجاهات غير تلك التي يتشقق أو ينفصم فيها، فالمعادن التي لا تتشقق تعكس أسطحها عمومًا أشعة الضوء في اتجاهات مختلفة، وتتكون بها أسطح مكسر بسهولة، كما هو الحال في المواد غير المتبلورة. وهناك عدة أنواع للمكسر نذكر منها:

ا) *المكسر المحاري (المستدير)* Conchoidal fracture: نلاحظ هذا النوع من المكسر على أسطح المعادن المتجانسة التي تكون فيها قوة الروابط الداخلية متساوية في الاتجاهات كافة، فيظهر سطح المعدن المكسور خطوطًا مقوسة متمركزة تشبه إلى حد كبير خطوط النمو في الأصداف. مثال ذلك الكوارتز Quartz ، والصوان Flint والأبسيديان Obsidian (وإن كانت الأخيرة صخورًا).

ب) *المكسر المسنن (المشرشر)* Hackly fracture: وفيه يظهر سطح المعدن الناتج عن الكسر بروزات غير منتظمة وأسنانًا حادة كما هو الحال في الخشب المكسور. ومثال ذلك النحاس الحر أو الطليق (العنصري) Native copper.

الأوبسيديان (Medenbach & Wilk, 1986)



جـ) *المكسر المستوي (المسطح)* Even fracture: حيث يظهر سطح المعدن الناتج عن الكسر منبسطًا تقريبًا، كما في معدن الجالينا Galena.

د) *المكسر غير المستـوي* Uneven fracture: حيث يظهـر سطح المعدن خشنًا وغير مستوٍ نتيجة لوجود بعض النتوءات. وهو أكثر أنواع المكسر شيوعًا في المعادن.

٥ ـ التماسكيـة Tenacity

هي إحـدى الصفـات الطبيعية التي تعتمد على قوة الالتصاق أو الترابط بين ذرات المعدن في بنائه الداخلي. . وتعرف بأنها مقدار مقاومة المعـدن للكسر، أو الطحن أو الثني أو السحب أو الطرق؛ وهي على درجات منها:

ا) أن يكون المعدن سهل التقشير أو القطع بسكين إلى شرائح ، مثل معدني الجبس Gypsum والجرافيت Graphite. ويوصف المعدن في هذه الحالة بأنه لين Sectile ، قابل للتشريح أو سهل القطع.

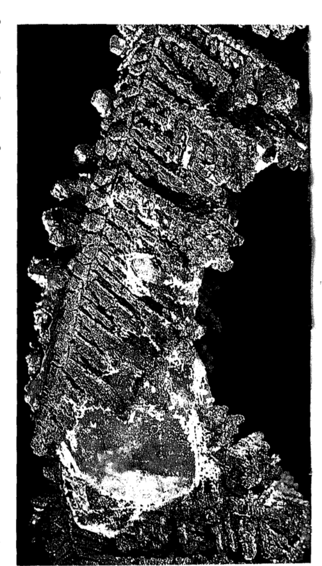
ب) إذا أمكن تشكيل المعدن بالطرق إلى ألواح رقيقة أو سحبه مثل معدني الذهب Gold والنحاس الحر أو الطليق Native copper ، يوصف المعدن بأن له خاصية السحب أو المسحوبية Ductility.

ج) المطروقية Malleability ، وهي خاصية استجابة المعدن للطرق دون تكسر أو تفتت، مثل معدن الفضة Silver.

د) إذا كان المعدن قابلاً للطي أو الثني ثم يعود إلى حالته الأولى بمجـرد زوال القـوة المؤثـرة (كـما هو الحال بالنسبة لمعدني المسكوفايت Muscovite والبيوتايت Biotite) وصف المعدن بأنه مرن Elastic.

هـ) التثني Flexibility ، وهـو قابلية شرائـح المعدن أو صفائحه للانثنـاء دون أن تنكسر، ثم بقاؤها على تلك الحالة دون رجوعها إلى وضعها السابق حتى بعد زوال المؤثر المتسبب في عملية الانثناء، مثل معدن التلك Talc.

و) عنـدمـا ينكسر المعـدن بيسر وسهولة بالطرق الخفيف مثلاً، يوصف بأنـه معـدن هش Brittle ، مثل معدني الكبريت Sulphur ، والكاؤلين Kaolinite.



النحاس (Medenbach & Wilk, 1986)

ثالثاً: الخصائص الحسية Sense Properties

١ ـ الرائحة Odour

معدن الأرسينوبايرايت Arsenopyrite وبعض معادن الفوسفات لها رائحة خاصة ومميزة، ولا سيما عندما تتعرض للاحتكاك أو التسخين أو التنفس فوقها، ومن أهم هذه الروائح مايلي:

أ) *الرائحة الطينية* Argillaceous odour: وهي الرائحة التي يمكن شمها وتنبعث من الصخور الطينية الرطبة (المبللة بالماء)، مثل الكاؤلين Kaolin ، وكذا معدن الاليت Illite.

ب) *رائحة الثوم* Garlic odour: وهي رائحة شبيهة برائحة الثوم تصدر عن بعض المعادن المحتوية على عنصر الزرنيخ وذلك عند حكها أو تسخينها كما في معدن الأرسينوبايرايت Arsenopyrite.

ج) *الرائحة الكبريتية* Sulphurous: وهي عبارة عن رائحة كبريتية تنبعث عند تسخين الكبريت أو بعض معادن الكبريتيدات، مثل معدن البايرايت Pyrite.

د) *الرائحة القطرانية* (البتيومينية) Bituminous odour: رائحة شبيهة برائحة القطران أو فحم البتيومين.

هـ) *الرائحة العفنة* (الزنخة) Fetid odour: مثل رائحة البيض الفاسد التي تنبعث عند تسخين بعض عينات الحجر الجيري القطراني.

٢ ـ الطعم (المذاق) Taste

بعض المعادن لها مذاق مميز يمكن التعرف عليه عندما تذاب في قليل من الماء أو في لعاب الفم؛ ويفضل استخدام هذه الخاصية للمعادن العديمة اللون أو البيضاء. أما المعادن الملونة، فأغلبها سام. وتنقسم هذه الخاصية إلى الأنواع التالية:

أ) *مذاق قلوي* Alkaline: مثل مذاق النطرون Natron أو الصودا الكاوية "Soda".

ب) *مذاق ملحي* Saline: مثل مذاق ملح الطعام، كما في معدن الهاليت Halite.

ج) *مذاق مزز* Sour: مثل مذاق الشبة.

د) *مذاق مر* Bitter: مثل مذاق ملح الإبسوم Epsom salt.

هـ) *مذاق مرطب* Cooling: مثل مذاق أملاح النيتر Nitre.

٣ ـ الملمس Touch

هو عبارة عن التأثير الحادث نتيجة تناول العينة أو لمسها باليد، ويوصف الملمس بأنه:

أ) ناعم Smooth: وهو ملمس المعدن عندما يكون سطحه أملس، مثل معدن الأوبال Opal.

ب) خشن Harsh: وهو الملمس الذي تشعر به عند مرور أصابع اليد على ورق الصنفرة Sand paper ، مثل ملمس معدن الأوليفين Olivine الذي يوجد عادة على هيئة كتل حبيبية صغيرة.

ج) دهني (صابوني) Greasy: وهو الملمس الذي تشعر به عند إمرار أصابع اليد على أعمدة الشموع، مثل ملمس معدني التلك Talc والسربنتين Serpentine.

رابعا: الثقل النوعي (الوزن النوعي) Specific Gravity

هو عبارة عن النسبة بين كتلة المعدن وكتلة جسم مساوٍ له من الماء عند درجة حرارة تساوي ٤ درجات مئوية؛ وتعتبر هذه الصفة من أهم الصفات الطبيعية للمعادن، وبصفة عامة يمكن القول إن المعادن الفلزية أثقل من المعادن اللافلزية. ويتم تحديد الثقل النوعي لأي معدن بتطبيق المعادلة التالية:

$$\text{الثقل النوعي للمعدن} = \frac{\text{هـ}}{\text{هـ} - \text{هـ١}} \ \text{جم/سم}^{3}$$

حيث هـ = وزن المعدن في الهواء، هـ١ = وزن المعدن في الماء.

ومن المعروف أن الثقل النوعي للمعدن لا يتوقف على تركيبه الكيميائي فحسب بل أيضًا على بنائه البلوري، فيتغير الثقل النوعي تبعًا للطريقة التي رصت بها الذرات المكونة للمعدن. فمثلاً نجد أن الثقل النوعي للألماس هو (٣,٥) جم/سم^{3}، في حين أن الثقل النوعي للجرافيت هو (٢,٣) جم/سم^{3} على الرغم من أن التركيب الكيميائي لكليهما واحد (وهو الكربون)؛ إلا أن بناءهما البلوري مختلف، فهو في الألماس مكعبي، بينما هو في الجرافيت سداسي. وهكذا الحال بالنسبة لمعادن السيلكا الثلاثة.

جدول رقم (٣). الصفات المختلفة لمعادن السيليكا الثلاثة

المعـــدن	التركيب الكيميائي	الشكل البلوري	الثقل النوعي
الكوارتز Quartz	SiO_2	ثلاثي Trigonal	٢,٦٥
الكريستوباليت Cristobalite	SiO_2	مكعبي Cubic	٢,٣٢
تريديمايت Tridymite	SiO_2	معين قائم Orthorhombic	٢,٢٦

وعند الدراسة الأولية، يتم التعرف على الثقل النوعي التقريبي بحمل عينة المعدن باليد؛ ومعروف أن متوسط الثقل النوعي للمعادن اللافلزية Non-metallic هو (٣,٧) جم/سم٣، وهو للمعادن الفلزية Metallic حوالي (٥) جم/سم٣. وعليه يمكن استخدام المقياس التقريبي التالي لوصف الوزن النوعي للمعادن: -

ا) خفيف Light: مثل معدن الجرافيت Graphite (٢,٣) جم/سم٣.

ب) متوسط Average: مثل معدن الكوارتز Quartz (٢,٦٥) جم/سم٣.

ج) ثقيل Heavy: مثل معدن البارايت Barite (٥ , ٤) جم/سم٣.

د) ثقيل جدًا Very heavy: مثل معدن الجالينا Galena (٧,٦) جم/سم٣.

جدول رقم (٤). الثقل النوعي لبعض المعادن الشائعة

اسم المعدن	الثقل النوعي	اسم المعدن	الثقل النوعي
الجبس Gypsum	٢,٣٢	البايرايت Pyrite	٥,٠٢
الأرثوكليز Orthoclase	٢,٥٧	الأرسينوبايرايت Arsenopyrite	٦,٠٧
الكوارتز Quartz	٢,٦٥	الكاستيرايت Cassiterite	٦,٦٥
الكالسيت Calcite	٢,٧١	الجالينا Galena	٧,٥٠
الفلورايت Fluorite	٣,١٨	السينبار Cinnabar	٨,١٠
التوباز Topaz	٣,٥٣	النحاس Copper	٨,٩
الكورندوم Corundum	٤,٠٢	الفضة Silver	١٠,٥
البارايت Barite	٤,٤٥	الذهب Gold	١٩,٣

خامسا: خصائص أخرى Other Properties

١ ـ الصفات المغناطيسية Magnetic Properties

من المعروف أن معظم معادن الحديد لها خصائص مغناطيسية، ولكن لا يمكن القول إن هذه قاعدة ثابتة، فمثلاً نجد أن معدني الماجنيتايت Magnetite والبيرهوتيت Pyrrhotite ينجذبان إلى قطب المغناطيس اليدوي العادي Bar magnet ، بينما لا ينجذب معدن الهيماتيت Hematite إلى المغناطيس، علاوة على أن هناك معادن تنفر من المغناطيس مثل معدن الزركون (الزرقون) Zircon.

وعلى أساس هذه الخاصية، يمكن فصل المعادن ذات الخصائص المغناطيسية المختلفة باستخدام المغناطيس الكهربائي Franz Isodynamic Separator ، حيث يمكن التحكم في المغناطيسية الكهربائية وتغييرها إلى درجات متفاوتة، وبذلك يمكن فصل المعادن ذات الدرجة المغناطيسية المختلفة، كما هو الحال في تركيز معدن الماجنيتايت وفصله من الأباتيت مثلاً؛ ولكن في مجال دراستنا الأولية يكفي استخدام المغناطيس اليدوي.

٢ـ الصفات الكهربائية Electric Properties

من المعادن ما يوصف بأنه جيد التوصيل الكهربي، مثل الذهب والفضة والألماس والنحاس الحر ومعظم معادن الكبريتيدات، حيث تكتسب هذه المعادن شحنات كهربائية عند تعرضها للاحتكاك أو التدليك فتلتقط الأشياء الخفيفة مثل قصاصات الورق أو القطع الصغيرة من القش. وفي الوقت نفسه نجد أن معادن السيلكات موصلة رديئة للكهرباء.

هذا ويتم فصل المعادن القابلة للتكهرب عن غيرها بطريقة تسمى الفصل الكهروستاتيكي Electrical separation process.

بعض المعادن، مثل التورمالين Tourmaline ، عندما تسخن تتولد عليها شحنات كهربية مختلفة عند طرفي البلورة، وتعرف هذه الخاصية باسم Pyroelectricity. وهناك معادن أخرى مثل الكوارتز Quartz تتولد عليها الشحنات الكهربائية المختلفة عند طرفي البلورة وذلك عند تعرضها للإجهاد، وتعرف هذه الخاصية باسم Piezoelectricity.

٣ ـ الإشعاع الذري Atomic Radiation

تمتاز بعض المعادن بخاصية إطلاق إشعاعات وجسيمات متطايرة نتيجة للتحلل الذاتي لذرّاتها. فبينما يعتبر البوتاسيوم من العناصر ذات الإشعاع الذري الضعيف، يعتبر اليورانيوم من العناصر ذات الإشعاع القوي. ويمكن الكشف عن هذه الخاصية بأجهزة خاصة مثل عدادات جيجر Geiger counters ، أو عدادات الوميض Scintillometer. ومن أهم المعادن المشعة اليورانينايت Uraninite ، والبتشبلند Pitchblende ، والثورايت Thorite ، وغيرها.

٤ ـ الانصهارية Fusibility

تساعد هذه الخاصية في التعرف على المعادن، حيث إن غالبية المعادن لها درجة انصهار ثابتة إذا كانت نقية. فالبلاتين مثلاً ينصهر عند درجة ١٧٥٥°م، والذهب عند درجة ١٠٦٢°م، بينما تنصهر الفضة عند درجة ٩٦٠°م.

٥ ـ الذوبان في الماء Solubility

معدن الهاليت Halite وعدة معادن أخرى قابلة للذوبان في الماء العادي أو في محاليل حمضية أخرى.. فمثلاً نجد أن معدن الكالسيت Calcite يذوب في محلول مخفف بارد من حمض الهيدروكلوريك (HCl) مصحوبًا بفقاقيع محملة بغاز ثاني أكسيد الكربون.

التصنيف العام للمعادن Classification of Minerals

هناك عدة طرق لتصنيف المعادن، منها ما له أهمية في تسمية الصخور المتبلورة كأن تصنف المعادن إلى أساسية Essential وأخرى تعرف بالإضافية Accessories وهذه ليس لها أهمية في تسمية الصخور. وهناك من المعادن ما يعرف بالمعادن الثابتة (مثل الكوارتز) وهي التي يظل تركيبها الكيميائي ثابت لا يتأثر بالتجوية الكيميائية مهما طال الزمن. ومنها غير الثابت وهي المعادن التي تتأثر بالعوامل الطبيعية، مثل معدن الفلسبار. كما أنه يمكن تقسيم المعادن إلى أولية Primary وثانوية Secondary ؛ الأولى توجد بحالتها الطبيعية التي تكونت بها، والثانية هي الناتجة عن تحلل معدن آخر، مثل الكلورايت الناتج عن تحلل الميكا والهورنبلند والكاؤلين الناتج عن تحلل معدن الفلسبار.

وسوف نكتفي في هذه الدراسة باتباع طريقة تصنيف المعادن على أساس تركيبها الكيميائي، وكذا تركيب الشق الحمضي فيها (تقسيم دانا) Dana's classification. وعلى هذا الأساس تُصنَّف المعادن إلى سبع مجموعات هي مايلي:

١ ـ مجموعة المعادن العنصرية (الحرة) Native Elements Group

وهي المعادن التي توجد كعناصر حرة غير متحدة مع غيرها في الطبيعة، ومن أشهرها الذهب (Au) والفضة (Ag) ، ويوجدان عادة بجوار مناطق النشاط الناري. أما الألماس (C) ، فيتبلور من الصهارة تحت ظروف عالية من الضغط والحرارة؛ وعلى الرغم من أن الجرافيت له تركيب الألماس (C) نفسه، إلا أنه يتكون في الصخور المتحولة... ومن الأمثلة الأخرى لهذه المجموعة نذكر المعادن التالية:



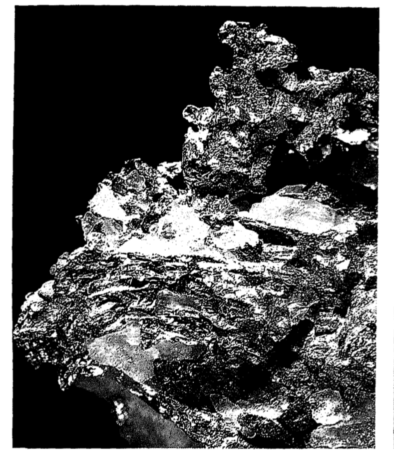
الفضة (Medenbach & Wilk, 1986)



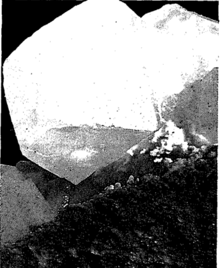
النحاس (Desautles, 1974)

الحـديد (Fe) ، والبلاتين (Pt) ، والبزموت (Bi) ، والرصاص (Pb) ، والكبريت (S) ، والزرنيخ (As) ، والنحاس (Cu) والزئبق (Hg).

الذهب (Medenbach & Wilk, 1986)



الكبريت (Medenbach & Wilk, 1986)



٢ ـ مجموعة معادن الأكاسيد
Oxide Minerals Group

من أكثر الأكاسيد الفلزية انتشارًا في الطبيعة أكاسيد الحديد فمعدن الماجنيتايت Magnetite (Fe_3O_4) أسود اللون ويتبلور من الصهارة تحت درجات عالية من الضغط والحرارة. بينما نجد معدن الهيماتيت (Fe_2O_3) Hematite لونه رمادي أسود ومخدشه أحمر، والجيوثايت FeO.(OH) Goethite لونـه أصفـر، وكلاهما يكثر على سطح الأرض ويعود سبب الألـوان الحمـراء، والبنية والصفـراء إلى وجـود العـديد من الصخور الرسوبية لهذه الأكاسيد . . كما أن أكسيد السيليكون أو معدن الكوارتز (SiO_2) ، وإن كان يعتبر أكثر الأكاسيد على الإطلاق انتشارًا في الطبيعة إلا أنـه أحيانًـا يتم تصنيفه ضمن معادن السيليكات. ومن أمثلة هذه المجمـوعـة كذلـك الأكـاسيد التالية: السبينل Spinel ($MgAl_2O_4$) ، الكروميت Chromite ($FeCr_2O_4$) ، الأوبال Opal (SiO_2nH_2O) ،

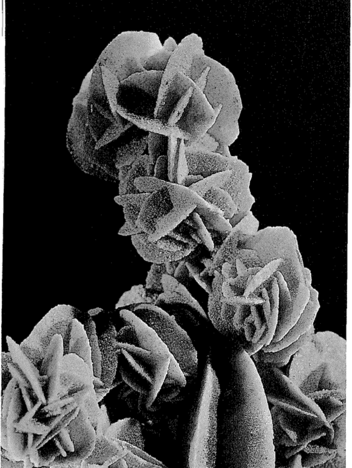
الكـــورنـــدم Corundum (Al_2O_3) ، المينـــايت Ilmenite ($FeTiO_3$) والجيوثايت Goethite $FeO(OH)$.

٣ ـ مجموعة معادن الكبريتات
Sulphate Minerals Group

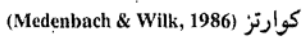
هي عبارة عن معادن تكونت غالبًا فوق سطح الأرض من محاليل مائية نتيجة لاتحاد عناصرها مع مجموعة الكبريتات، ومن أهمها معدن الجبس Gypsum الذي يحتوي في تركيبه على جزءين من الماء ($CaSO_4.2H_2O$) ، بينما لا يحتوي الأنهيدرايت Anhydrite على الماء ($CaSO_4$) . ومن أمثلتها أيضا معدن البارايت Barite ($BaSO_4$).

٤ ـ مجموعة معادن الفوسفات
Phosphate Minerals Group

هي المعادن التي تتحد عناصرها مع شق الفوسفات؛ وهي عادة معادن رسوبية عضوية، من أشهرها معدن الأباتيت Apatite $Ca_5(PO_4)_3F$.



جبس (Medenbach & Wilk, 1986)



كوارتز (Medenbach & Wilk, 1986)



بارايت (Medenbach & Wilk, 1986)



٥ ـ مجموعة معادن الكبريتيدات
Sulfide Minerals Group

هي المعادن التي يتحد فيها عنصر الكبريت مع عناصر أخرى، ومن أمثلتها: السفاليرايت Sphalerite (ZnS) الذي يحتوي على الزنك، والجالينا Galena (PbS)، الذي يحتوي على الرصاص، والبايرايت Pyrite (FeS) الذي يعرف باسم الذهب الكاذب بسبب لونه الأصفر. ومن أمثلتها أيضًا: المولبدنايت Molybdenite (MoS_2)، الأرزينوبايرايت Arsenopyrite (FeAsS)، الكالكوبايرايت Chalcopyrite ($CuFeS_2$)، والكالكوسايت Chalcocite (Cu_2S).

٦ ـ مجموعة معادن الهاليدات
Halide Minerals Group

هي المعادن التي تتحد عناصرها مع كل من: الكلور، والفلور، والبروم، واليود ومن أشهرها ملح الطعام Halite(NaCl)، الفلورايت Fluorite (CaF_2).

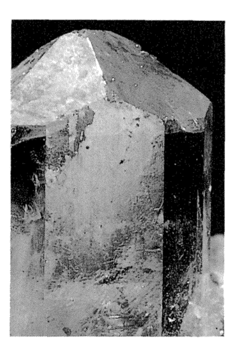
٧ ـ مجموعة معادن الكربونات
Carbonate Minerals Group

هي المعادن التي تتحد عناصرها مع شق الكربونات. . ومن أكثرها انتشارًا معدنا الكالسيت Calcite ($CaCO_3$)، والدولومايت Dolomite $CaMg(CO_3)_2$، ويعتبران أيضًا من الصخور الرسوبية الكيميائية. ومن أمثلة هذه المجموعة أيضًا المعادن التالية:

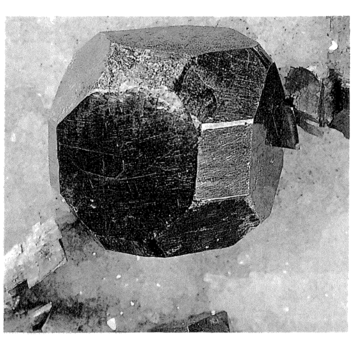
أراجونايت Aragonite ($CaCO_3$)، الملاكايت Malachite ($Cu_2CO_3.nH_2O$)، الماجنيزايت Magnesite ($MgCO_3$)، الأزورايت Azurite $2CuCO_3Cu\ (OH_2)$.

٨ ـ مجموعة معادن السيليكات
Silicate Minerals Group

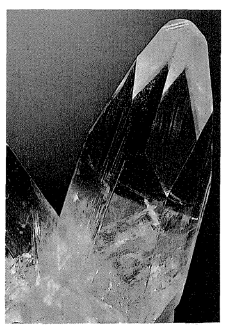
من المعروف أن معظم المكونات الرئيسة للصخور النارية ولعدد من الصخور المتحولة والرسوبية هي معادن سيليكاتية. . . ويمكننا القول إن هذه المعـادن تشكـل ما يقارب ٩٠٪ من القشرة الأرضية. . . كما



أباتيت (Medenbach & Wilk, 1986)



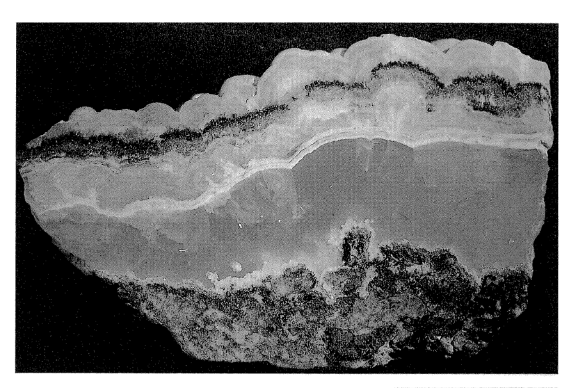
جالينا (Medenbach & Wilk, 1986)



كالسيت (Medenbach & Wilk, 1986)



فلورايت (Medenbach & Wilk, 1986)



سميثونت (Medenbach & Wilk, 1986)



أراجونايت (Medenbach & Wilk, 1986)

يلاحظ أن تركيبها الجزيئي أكثر تعقيدًا من معظم معادن المجموعات الأخرى، ففي هذه المعادن، ترتبط العناصر بوحدة بنائية أساسية هي تراهيدرا (رباعي الأوجه) السيلكا، وتتمثل في ذرة سيلكون واحدة موجبة الشحنة محاطة بأربع ذرات أكسجين سالبة الشحنة عند أركان رباعي الأوجه Tetrahedron . ويعزى الاختلاف بين معادن السيلكات إلى الطريقة التي ترتبط بها هذه التراهيدرا (رباعي الأوجه Tetrahedron) وترتيبها. ومن ثم يستخدم هذا التباين في تصنيفها على النحو التالي:

ا) سيليكات رباعي الأوجه المنفرد
{ نيزوسيليكات Nesosilicates }

وفيها يتم ربط رباعيات الأوجه المكونة للشق السيليكاتي بأيونات فلزية ثنائية التكافؤ مثل الحديد والمغنسيوم. وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١ : ٤؛ ومن أمثلتها الأوليفين $(MgFe)_2SiO_4$ Olivine ، الكيانايت (Al_2SiO_5) Kyanite ، الزيركون $(ZrSiO_4)$ Zircon والأندالوسايت (Al_2SiO_5).



توباز (Medenbach & Wilk, 1986)

ب) سيليكات رباعي الأوجه المزدوجة
(سوروسيليكات Sorosilicates)

وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢ : ٧؛ حيث يقتسم اثنان من رباعيات الأوجه ذرة أكسجين ليعطيا أيونا (Si_2O_7). ومن أمثلتها الإبيدوت Epidote $Ca_2(Al\ Fe)_3\ Si_3O_{12}(OH)$.

ج) سيليكات رباعي الأوجه الحلقية
(سيكلوسيليكات Cyclosilicates)

وفيها يرتبط ثلاثة أو أربعة أو ستة من رباعيات الأوجه عن طريق اقتسام ٣-٤-٦ ذرات أكسجين لتكون حلقة. وتكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١ : ٣؛ ومن أمثلتها: البريل Beryl ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$).

د) سيليكات رباعي الأوجه المسلسلة
(اينوسيليكات Inosilicates)

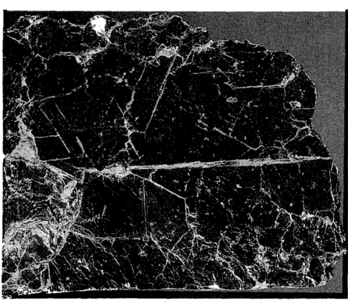
يتم الارتباط بين وحدات رباعي الأوجه على هيئة سلسلة غير محددة الامتداد منفردة Single chain أو مزدوجة Double chain. في الأولى تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١ : ٣؛ وتتبعها مجموعة البيروكسين، ومن أمثلتها معدن الانستاتايت Enstatite ($MgSiO_3$)، ومعدن الهايبرثين Hypersthene $(MgFe)\ SiO_3$. أما في السلسلة المزدوجة، فتكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين (٤ : ١١)؛ وتتبعها مجموعة الأمفيبول، ومن أمثلتها معدن الهورنبلند Hornblende، ومعدن التريمولايت Tremolite $Ca_3Mg_5\ (Si_4O_{11})_2\ (OH)_2$.

هـ) سيليكات رباعي الأوجه الصفائحية
(فيلّوسيليكات Phyllosilicate)

يتم ارتباط الوحدات (SiO_4) عن طريق اقتسام ثلاث ذرات أكسجين مع الوحدات المجاورة لها، وتمتد في الاتجاهين مكونة صفيحة مسطحة غير متناهية الامتدادات، وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين (٢ : ٥)؛ وتتبعها مجموعة الميكا، ومن أمثلتها معدن الماسكوفايت (الميكا البيضاء) Muscovite $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$، ومعدن البيوتايت (الميكا السوداء) Biotite $K(MgFe)_3\ AlSi_3O_{10}(OH)_2$.



مسكوفايت (Mondadori, 1983)



بيوتايت (Mondadori, 1983)

و) سيليكات رباعي الأوجه الشبكية (تكتوسيليكات Tectosilicates)

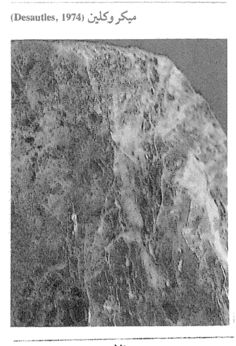
تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين (١ : ٢)؛ ويشتمل هذا النوع من رباعي الأوجه على أكبر عدد من معادن السيليكات. ويلاحظ أن الاتصال بين رباعيات الأوجه (SiO_4) يتم من خلال اقتسام ذرات الأكسجين الأربع لتكون لدينا شبكة ثلاثية الأبعاد تمتد في الاتجاهات كافة ومن أمثلتها:

مجموعة معادن السيليكا SiO_2 : ومن أمثلتها كوارتز Quartz (الفا - بيتا) . الترديمايت Tridymite ، الكريستوباليت Cristobalite.

مجموعة الفلسبارات Feldspar group: ومن أمثلتها فلسبار بوتاس ارثوكليز Orthoclase $KAlSi_3O_8$ . . الخ .
- بلاجوكليز (صودي - كلسي) الألبايت Albite $NaAlsi_3O_8$ الأنورثايت Anorthite $CaAl_2Si_2O_8$

مجموعة أشباه الفلسبار Feldspathoid group: ومن أمثلتها النفلين Nepheline $(NaK) AlSiO_4$ ، والصوداليت Sodalite $3NaAl (SiO_4)_3 NaCl$ والليوسايت Leucite $KAlSi_2O_6$.


ميكروكلين (Desautles, 1974)


صودالايت (Mondadori, 1983)


تورمالين (Medenbach & Wilk, 1986)

جدول رقم (٥). تصنيف رباعيات الأوجه السيليكاتية SiO_4 وأمثلة من المعادن السيليكاتية

مجموعة السيليكات	المعدن	التركيب الكيميائي	الوضع الفراغي لرباعيات الأوجه ونسبة الأكسجين : السيليكا	
سيليكات رباعي الأوجه المنفردة Nesosilicates	الأوليفين Olivine	$(MgFe)_2SiO_4$		٤ : ١
سيليكات رباعي الأوجه المزدوجة Sorosilicates	الأبيدوت Epidote	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$		٧ : ٢
سيليكات رباعي الأوجه الحلقية Cyclosilicates	البريـل Beryl	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$		٢ : ١ ٨ : ٦
سيليكات رباعي الأوجه المسلسلة Inosilicates ا ـ سلسلة منفردة Single	البيروكسين Pyroxene	$(MgFe)SiO_3$		٣ : ١
ب ـ سلسلة مزدوجة Double	الهورنبلند Hornblende	Complex CaNaMgFeAl silicate		١ : ٤
سيليكات رباعي الأوجه الصفائحية Phyllosilicates	ميكا Mica: المسكوفايت Muscovite	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$		٥ : ٢
	ميكا Mica: البيوتايت Biotite	$K(MgFe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$		
سيليكات رباعي الأوجه الشبكية Tectosilicates	فلسبارات Feldspar: الأورثوكليز Orthoclase	$KAlSi_3O_8$		٢ : ١
	فلسبارات Feldspar: البلاجيوكليز Plagioclase	$(CaNa)AlSi_2O_8$		

جدول رقم (٦). خصائص وتركيب ووجود المعادن الشائعة في الصخور

الاسم		التركيب الكيميائي	اللون	البريق	الصلادة	الانفصام	الشكل	الوزن النوعي	صخور نارية	صخور رسوبية	صخور متحولة	
الأوليفين	Olivine	$(MgFe)_2SiO_4$	زيتوني	زجاجي	٧	غير واضح صغيرة	حبيبات	٣,٨	●			Mafic Minerals
البيروكسين	Pyroxene	$Ca(MgFe)Si_2O_6$	أخضر مسود	زجاجي	٥,٥	اتجاهين	بلورات سداسية قصيرة	٣,٣	●		٥	Mafic Minerals
الهورنبلند	Hornblende	Complex CaNaMg Fe Al silicates	أسود	زجاجي	٥,٥	اتجاهين	بلورات مستطيلة	٣,٣	●		٥	Mafic Minerals
البيوتايت	Biotite	Complex hydro K Mg FeAl silicates	بني مسود	زجاجي	٣	اتجاه واحد	صفائح	٣	●	٥	٥	Mafic Minerals
الكوارتز	Quartz	SiO_2	عديم اللون رمادي	زجاجي	٧	غير واضح	كتلي	٢,٦	●●	●●	٥	Felsic Minerals
الفلسبار	Na - Ca	(Na - Ca) Alamino - Silicates	أبيض	زجاجي	٦	اتجاهين	كتلي	٢,٧	●●	٥	٥	Felsic Minerals
	K - Na	(K - Na) Alamino - Silicates	وردي	زجاجي	٦		كتلي	٢,٧	●●	٥	٥	Felsic Minerals
المسكوفايت	Muscovite	Hydro K AL silicates	عديم اللون	زجاجي	٢,٥		صفائح	٢,٩	٥		٥	Felsic Minerals
الكاليت	Calcite	$CaCO_3$	أبيض	زجاجي	٣	ثلاثة اتجاهات	متبلور	٢,٧		●	٥	
الدولوميت	Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	أبيض	زجاجي	٣,٥		متبلور	٢,٩		●		
الجبس	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	أبيض	زجاجي	٢	اتجاه واحد	ألياف	٢,٣		●		
الهاليت	Halite	NaCl	عديم اللون	زجاجي	٢,٥	ثلاثة اتجاهات	حبيبي	٢,٢		●		
الكلوريت	Chlorite	Hydrous MgFeAl silicate	أخضر	زجاجي	٢,٥	اتجاه واحد	صفائح	٢,٨			●	
الجارنت	Garnet	MgFeAlCa silicates	بني محمر	زجاجي	٧	لا يوجد	كتلي	٤			●	
السربنتين	Serpentine	Hydrous Mg silicates	أخضر قاتم	حريري	٤	لا يوجد	صفائح	٢,٤			●	

●● موجود في أغلب الصخور

● شائع الوجود

٥ ثانوي الوجود

تقسيم المعادن حسب التركيب الكيميائي تنقسم المعادن من حيث تركيبها الكيميائي إلى عدة مجموعات هي:

١ ـ مجموعة المعادن العنصرية الطليقة وتضم المعادن التي توجد في هيئة عناصر في الطبيعة ومن أمثلتها:

Native Elements Group

الأنتيمون	(Sb)	Antimony
الزرنيخ	(As)	Arsenic
البزموت	(Bi)	Bismuth
النحاس	(Cu)	Copper
الألماس	(C)	Diamond
الذهب	(Au)	Gold
الجرافيت	(C)	Graphite
الحديد	(Fe)	Iron
الرصاص	(Pb)	Lead
الزئبق	(Hg)	Mercury
البلاتين	(Pt)	Platinum
الفضة	(Ag)	Silver
الكبريت	(S)	Sulphur

٢ ـ مجموعة معادن الكبريتيدات وتضم المعادن التي يتحد فيها الكبريت مع العناصر الأخرى، ومن أمثلتها:

Sulphide Minerals Group

ارزينوبايرايت	$FeAsS$	Arsenopyrite
كالكوسايت	Cu_2S	Chalcocite
كالكوبايريت	$CuFeS_2$	Chalcopyrite
سينبار	HgS	Cinnabar
جالينا	MoS_2	Galena
موليبدونيت	FeS_2	Molybdenite
بايرايت	FeS	Pyrite
سفاليرايت	ZnS	Sphalerite

٣ ـ مجموعة معادن الأكاسيد وتضم المعادن الناتجة عن اتحاد الأكسجين بالعناصر الأخرى، ومن أمثلتها:

Oxide Minerals Group

كاسيترايت	SnO_2	Cassiterite
كرومايت	$FeCr_2O_4$	Chromite
كورندوم	Al_2O_3	Corundom
ليمونايت	$2Fe_2O_3.3H_2O$	Limonite
ماجنيتايت	Fe_3O_4	Magnetite
بيرولوسايت	MnO_2	Pyrolusite
روتيل	TiO_2	Rutile
زنكيت	ZnO	Zincite

٤ ـ مجموعة معادن الهاليدات
Halide Minerals Group

فلورايت	CaF_2	Fluorite
هاليت	NaCl	Halite

٥ ـ مجموعة معادن الفوسفات
Phosphate Minerals Group

وتضم المعادن التي يتحد في شقها الفوسفات، ومن أمثلتها:

اباتيت	$Ca_5F(PO_4)_3$	Apatite

٦ ـ مجموعة معادن الكربونات
Carbonate Minerals Group

وتضم المعادن التي تتحد عناصرها مع شق الكربونات، ومن أمثلتها:

أراجونايت	$CaCO_3$	Aragonite
أزورايت	$Cu_3(CO_3)_2(HO)_2$	Azurite
كالسيت	$CaCO_3$	Calcite
دولومايت	$CaMg(CO_3)_2$	Dolomite
ماجنيزايت	$MgCO_3$	Magnesite
ملاكيت	$Cu_2CO_3(HO)_2$	Malachite
سيديرايت	$FeCO_3$	Siderite
سمثسونايت	$ZnCO_3$	Smithsonite

٧ ـ مجموعة معادن الكبريتات
Sulphate Minerals Group

وتضم المعادن التي تتحد عناصرها مع الكبريتات ومن أمثلتها:

أنهيدرايت	$CaSO_4$	Anhydrite
بارايت	$BaSO_4$	Barite
جبس	$CaSO_42H_2O$	Gypsum

٨ ـ مجموعة معادن السيليكات
Silicate Minerals Group

هي المعادن التي تتكون نتيجة اتحاد مجموعة (جذر) السيلكا مع عنصر أو أكثر، وفقًا للعلاقة التركيبية والنسبة بين عنصري السيلكون والأكسجين، وقد أمكن تقسيم هذه المعادن إلى ست مجموعات رئيسة هي:

ا) **نيزوسيليكات Nesosilicates**

اندالوسايت	Al_2SiO_5	Andalusite
كيانايت	Al_2SIO_5	Kyanite
أوليفين	$(MgFe)_2SiO_4$	Olivine
سليمانايت	Al_2SiO_5	Sillimanite

شتوروليت	$Fe_2Al_9O_6(SiO)_2(O.OH)_2$	Staurolite
توبـــاز	$Al_2SiO_4(FOH)_2$	Topaz
زيركـــون	$ZrSiO_4$	Zircon

ب) سوروسيليكات **Sorosilicates**

وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢ : ٧؛ ومن أمثلتها المعادن التالية:

إيبـدوت	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	Epidote

جـ) سيكوسيليكات **Cyclosilicates**

وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١ : ٣؛ ومن أمثلتها المعادن التالية:

بيريـل	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Beryl
تورمالين (مجموعة معادن لها تركيب معقد)		Tourmaline

د) إينوسيليكات **Inosilicates**

وفيهـا تكـون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١ : ٣ في السلاسل المنفردة؛ ومن أمثلتها المعادن التالية

أوجايت	$(Ca Na) (Mg Fe Al) (Si Al)_2O_6$	Augite
دايوبسايد	$Ca Mg Si_2 O_6$	Diposide
انستاتايت	$Mg SiO_3$	Enstatite
هايبرثين	$(MgFe)SiO_3$	Hypersthene

وفي السلاسل المزدوجة تكون النسبة بينهما ٤ : ١١؛ ومن أمثلتها:

هورنبلند Hornblende complex Ca Na Mg Al OH silicate

هـ) فيللوسيليكات **Phyllosilicates**

وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢ : ٥؛ ومن مثلتها:

بيوتايت	$K(Mg Fe)_3)AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Biotite
مسكوفايت	$KAl_3 Si_3 O_{10} (OH)_2$	Muscovite
سربنتيـن	$Mg_6 Si_4 O_{10} (OH)_8$	Serpentine
تلـــك	$Mg_3 Si_4 O_{10} (OH)_2$	Talc

و) تكتوسيليكات **Tectosilicates**

وفيها تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١ : ٢؛ ومن أمثلتها:

البايـــت	$Na Al Si_3 O_8$	Albite
كوارتـــز	SiO_2	Quartz
اورثوكليز	$K Al Si_3 O_8$	Orthoclase
صوداليــت	$3Na Al (SiO_4)_3Na Cl$	Sodalite

جدول رقم (٧). تمارين

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلابة	التشقق	المكسر	الشكل	ملاحظات

جدول رقم (٨) . تمارين

المعـدن	اللـون	البريـق	المخـدش	الصلابـة	التشـقق	المكسـر	الشكـل	ملاحظــات

جدول رقم (٩). تمارين

اسم المعدن	الوزن النوعي	التماسك	الشفافية	المغناطيسية	الرائحة	المذاق	الملمس	ملاحظات

وصف لأمثلة مختارة عن المجموعات المعدنية

جدول رقم (١٠). المعادن العنصرية أو الطليقة وأهم خصائصها الطبيعية

المعـدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـــات
نحــــاس Copper Cu	أحمر نحاسي	فلزي	أحمر نحاسي	٢,٥ ـ ٣	لا يوجد	مسنن	٨,٩	قابل للسحب والطرق والتشكيل وموصل جيد للحرارة والكهرباء
ذهـــب Gold Au	أصفر ذهبي	فلزي	أصفر ذهبي	٢,٥ ـ ٣	لا يوجد	مسنن	١٩,٣	يوجد مع الكوارتز في العروق، قابل للسحب والطرق والتشكيل وموصل جيد للحرارة والكهرباء
جرافيـــت Graphite C	أسود حديدي	فلزي	رمادي مسود	١ ـ ٢	في اتجاه واحد	لا يوجد	٢,٢	ملمس دهني يترك أثرا أسود على الورق والأصابع
كبريـــت Sulpher S	أصفر ليموني	دهني صمغي	أبيض أو أصفر فاتح	٢,٥	لا يوجد	محاري إلى غير مستوٍ	٢,١	يمتاز بلونه وملمسه الشحمي ورائحته الكبريتية

جدول رقم (١١). معادن الأكاسيد وأهم خصائصها الطبيعية

المعـدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـــات
كورنــدم Corundum Al_2O_3	رمادي إلى بني أزرق فاتح أو أخضر	زجاجي عاكـس وأحيانا لؤلؤي	أبيض أو عديم اللون	٩	لا يوجد	غير مستوٍ	٤,ـ	يمتاز بشكل بلوراته التي تشبه البرميل، ويوجد في الصخور التي لا تحتوي على كوارتز.
ماجنيتايـت Magnetite Fe_3O_4	أسود حديدي	فلزي	أسود	٥,٥ـ٦,٥	لا يوجد	تحت محاري إلى غير مـستوٍ	٥,٢	يمتاز بالمغناطيسية، يوجد كمعدن إضافي في الصخور النارية والمتحولة
هيماتايـــت Hematite Fe_2O_3	أسود حديدي أو بني محمـر	فلزي	بني محمر إلى أحمر كرزي	٦,ـ	لا يوجد	تحت محاري إلى غير مستوٍ	٥,٢	يتميز عن الماجنيتايت بانعدام خاصية المغناطيسية وبلون مخدشـــه
ليمونايت Limonite $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	بني مصفر إلى بني داكـن	فلزي ماسي	بني مصفر	٥ـ٥,٥	لا يوجد	لا يوجد	٤,٧	يمتاز عن الهيماتيت بلون مخدشه دائما يعطي صلادة أقل من الحقيقة بسبب عوامل التعرية
بيرولوسايت Pyrolusite MnO_2	أسود حديدي	فلزي	أسود	٢ ـ ٢,٥	لا يوجد	ـ	٥,٢	يترك أثرا أسود على الأصابع

تابع جدول (١١)

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظات
روتيل Rutile TiO_2	بني محمر إلى أحمر أحيانا أسود	ماسي - تحت فلزي	بني فاتح	٦-٦,٥	لا يوجد	غير مستوٍ	٤,٥	أحد خامات التيتانيوم
زنكيت Zincite ZnO	أحمر قانٍ أصفر برتقالي	تحت ماسي	أصفر برتقالي	٤,-	واضح	تحت محاري	٦,٧	يمتاز بلونه الأحمر ولون مخدشه وصحبته لمعدن الفرانكلينايت
كاسيترايت Cassiterite SnO_2	عادة بني إلى أسود نادرا أصفر أو أبيض أو رمادي	ماسي	أبيض أو بني	٦-٧	لا يوجد	محاري إلى غير مستوٍ	٧,٤	يتميز بوزنه النوعي العالي (٧,٤).
أوبال Opal $SiO_2 \cdot 3H_2O$	أبيض إلى أصفر أحمر، بني، أخضر رمادي أو أسود	زجاجي صمغي لؤلؤي	أبيض أو عديم اللون	٥,٥-٦,٥	لا يوجد	محاري	٢,٢	يمتاز بمكسره وخاصية تلاعب الألوان في بعض أنواعه (سيليكا غير متبلورة)
كرومايت Chromite $FeCr_2O_4$	أسود حديدي إلى بني مسود	تحت فلزي - فلزي	بني داكن	٥,٥	لا يوجد	غير مستوٍ	٤,٨	يوجد في السربنتين والصخور فوق القاعدية

جدول رقم (١٢). معادن الهاليدات وأهم خصائصها الطبيعية

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظات
هاليت Halite NaCl	عديم اللون، أبيض، وأحيانا أزرق	زجاجي	أبيض	٢-٢,٥	في ثلاثة اتجاهات	محاري	٢,٢	يمتاز بطعمه المالح ويذوب في الماء
فلورايت Fluorite CaF_2	عديم اللون، أصفر، أزرق أخضر، بنفسجي، وردي أو أحمر	زجاجي	أبيض	٤	جيد في أربعة اتجاهات	محاري مسطح	٣,٣	أحيانا يوجد في هيئة بلورات ثمانية الأوجه

جدول رقم (١٣). معادن الكربونات وأهم خصائصها الطبيعية

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظات
سمثونايت Smithsonite $ZnCO_3$	أبيض، أخضر، أزرق، عادة بني مترب	زجاجي	أبيض	٤ ـ ٥	لا يوجد	غير مستوٍ	٤,٥	يتفاعل مع حامض HCl ويمكن تمييزه عن الكالسيت بوزنه النوعي العالي
كالسيت Calcite $CaCO_3$	عديم اللون إلى أبيض وأحيانًا أصفر أزرق أو بنفسجي	زجاجي	أبيض	٣	في ثلاثة اتجاهات	محاري	٢,٧	يتفاعل مع حامض HCl ويحدث فورانًا يكون حجر الجير والرخام
أراجونيت Aragonite $CaCO_3$	أبيض ـ رمادي أصفر ـ أخضر بنفسجي	زجاجي	أبيض أو عديم اللون	٣,٥ ـ ٤	جيد في ثلاثة اتجاهات	تحت محاري	٢,٩	يتفاعل مع حامض HCl ويحدث فورانًا
سيديرايت Siderite $FeCO_3$	لون الرماد أو رمادي مصفر أو أصفر	زجاجي	أبيض	٣,٥ ـ ٤	جيد في ثلاثة اتجاهات	غير مستوٍ إلى تحت محاري	٣,٩	ينجذب للمغناطيس بعد التسخين
ماجنيزايت Magnesite $MgCO_3$	أبيض عندما يكون نقيًا، رمادي أو أصفر	زجاجي ـ حريري	أبيض	٣,٥ ـ ٤,٥	واضح في ثلاثة اتجاهات	محاري مسطح	٣,ـ	لا يذوب في الحامض البارد ولكنه يتفاعل مع حامض HCl الساخن
أزورايت Azurite $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	أزرق أزوردي (نيلي)	زجاجي ـ ماسي	أزرق فاتح	٣,٥ ـ ٤	غير واضح	محاري	٣,٨	يذوب في الحامض البارد ويمتاز بلونه الأزرق
ملاكايت Malachite $Cu_2CO_3(OH)_2$	أخضر لامع	زجاجي ـ حريري	أخضر فاتح	٣,٥ ـ ٤	غير واضح في اتجاه واحد	محاري	٤,ـ	يتميز بذوبانه في الحامض البارد
دولومايت Dolomite $CaMg(CO_3)_2$	أبيض أو أبيض محمر أو مخضر	زجاجي ـ لؤلؤي	أبيض	٣,٥ ـ ٤	جيد في ثلاثة اتجاهات	تحت محاري	٢,٩	يوجد في الرخام وصخور الدولومايت ويمتاز عن بقية مجموعته بأنه يتفاعل بصعوبة مع حامض HCl

جدول رقم (١٤). معادن الكبريتات وأهم خصائصها

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظات
انهيدرايت Anhydrite $CaSO_4$	عديم اللون أو أزرق أو بنفسجي أو رمادي فاتح	زجاجي لؤلؤي	أبيض	٣ ـ ٣,٥	في ثلاثة اتجاهات	غير مستوٍ	٣ ـ ٥,٠	يمتاز عن الجبس بعدم احتوائه على الماء وصلابته المرتفعة

تابع جدول (١٤)

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـات
بارايت Barite $BaSO_4$	عديم اللون أو أبيض، أزرق أو أصفر فاتـح	زجاجي لؤلؤي	أبيـض	٣ـ٣,٥	واضح في ثلاثة اتجاهات	محاري أو غيرمستوٍ	٤,٥	ثقيل بالنسبة لبقية المعادن اللافلزية
جبـس Gypsum $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	عديم اللون أبيـض رمـادي	زجاجي حريري لؤلؤي	أبيض	٢	في ثلاثة اتجاهات أحدها جيد	محاري ـ ليفي	٢,٣	يمتـاز بسطحـه الناعـم ووجود تشقق واضح في اتجاه واحد

جدول رقم (١٥). معادن الفوسفات وأهم خصائصها

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـات
أباتيـت Apatite $Ca_5(PO_4)_3F$	عادة أخضر بني وأحيانا عديم اللون أصفر أو أزرق	زجاجي	أبيض	٥	غيرواضح	-	٣,٢	يوجد في بعض الصخور الناريـة كمعدن إضافـي ويفقد لونه عند التسخين

جدول رقم (١٦). معادن الكبريتيدات وأهم خصائصها الطبيعية

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـات
جالينا Galena PbS	رمادي رصاصي	فلزي	رمادي ـ رصاصي	٢,٥	في ثلاثة اتجاهات	تحت محاري أو مستوٍ	٧,٦	ثقيل ـ يترك أثرا على الورق بصعوبة. يوجد على هيئة عروق في حجر الجير
سنيبـار Cinnabar HgS	أحمر ارجواني	ماسي ـ معتم	قرمزي	٢,٥	غير واضـح	تحت محاري	٨,١	يمتاز بارتفاع كثافته النوعية
سفاليرايت Sphalerite ZnS	عادة أصفر، بني، أو أسـود	صمغـي	بني فاتح إلى غامق وأحيانا أبيض	٣,٥ـ٤	جيد في ستـة اتجاهات	محاري	٤,٢	يـذوب في الحامـض HCl يمتاز ببريقه ونحدشه ووضوح التشقق فيه
كالكوسايت Chalcosite Cu_2S	رمادي، رصاصي مسـود	فلزي	رمادي داكـن	٢,٥ـ٣	غيرواضح	محاري	٥,٨	يذوب بسهولة في حامض النيتريـك

تابع جدول (١٦)

المعـدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـات
موليبدينيت Molybdenite MoS_2	رمادي رصاصي	فلزي	رمادي - غامق	١-١,٥	في اتجاه واحد	-	٤,٧	يترك أثرا أسود على الورق واليد، يوجد في الجرانيت والرخام وعروق المرو الحاملة لمعادن التنحستين
بايرايـت Pyrite FeS_2	أصفر نحاسي فاتح	فلزي	أسود مخضر إلى قاتم	٦,٥	لا يوجد	محاري إلى غير مستوٍ	٥,٢	يتميز عن الكالكوبايرايت بارتفاع صلابته
أرزينوبايرايت Arsenopyrite FeAsS	فضي إلى رمادي	فلزي	رمادي مسود	٦	غير واضح	غير مستوٍ	٦,١	له رائحة الثوم عند حكه بأي جسم صلب
كالكوبايرايت Chalcopyrite $CuFeS_2$	أصفر ذهبي أو نحاسي	فلزي	أسود مخضر	٣,٥-٤	غير واضح	محاري	٤,٢	يختلف عن البايرايت بصلادته المنخفضة ويمتاز بلونه الأصفر

جدول رقم (١٧). معادن السيليكات وأهم خصائصها الطبيعية

المعـدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـات
أندالوسايت Andalusite Al_2SiO_5	أبيض، رمادي بني، أخضر - وردي	زجاجي	أبيض أو عديم اللون	٧,٥	في اتجاهين ولكنه غير واضح	غير مستوٍ	٣,٢	يوجد بكثرة في صخر الاردواز
سليمانايت Sillimanite Al_2SiO_5	بني فاتح إلى رمادي أو أخضر زيتوني	زجاجي	عديم اللون	٦-٧	جيد في اتجاه واحد	غير مستوٍ	٣,٢	يوجد في الشيست والنايس
كيانايـت Kyanite Al_2SiO_5	أزرق، أبيض رمادي مخضر	زجاجي لؤلؤي	عديم اللون أو أبيض	٥-٧	في اتجاهين	غير مستوٍ	٣,٦	يمتاز باختلاف صلادته في الاتجاهات المختلفة للبلورة وكذلك بلونه الأزرق
زيركـون Zircon $ZrSiO_4$	عديم اللون أو أصفر أو أحمر أو بني	زجاجي - ماسي	أبيض أو عديم اللون	٧,٥	لا يوجد	محاري	٤,٨	يوجد كمعدن إضافي في الصخور النارية الحامضية وكذلك في رواسب الوديان
أولفيـن Olivine $(MgFe)_2SiO_4$	زيتوني إلى أخضر مائل للاصفرار	زجاجي	أبيض - أصفر	٦,٥-٧	غير واضح	محاري	٣,٦	يمتاز بلونه الأخضر الزيتوني

تابع جدول (١٧)

المعدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظات
جارنت Garnet Fe, Mg, Ca, Al Sillicate	غالبا بني محمر أو أخضر فاتح أو أسود	زجاجي	أبيض أو عديم اللون	٦,٥-٧,٥	لا يوجد	محاري غير مستو	٤,٣	يمتاز بلونه المشابه للون التمر ويوجد بكثرة في الصخور المتحولة
توباز Topaz $Al_2SiO_4(F.OH)_2$	عديم اللون، أصفر قشي، أبيض - أخضر، أزرق	زجاجي	أبيض أو عديم اللون	٨	واضح في اتجاه واحد	غير مستو	٣,٦	يمتاز بصلادته العالية وبلوراته المخططة طوليا
شتوروليت Staurolite $Fe_2Al_9O_6(SiO)_2(O.OH)_2$	أحمر، بني مصفر، بني مسود، أسود	زجاجي	عديم اللون إلى رمادي	٧-٧,٥	لا يوجد	تحت محاري	٣,٨	يتميز ببلوراته التوأمية على شكل صليب (توأمة متقاطعة)
كوارتز (مرو) Quartz SiO_2	عديم اللون - أبيض، وردي حليبي مدخن، بنفسجي أحمر أو أخضر	زجاجي	عديم اللون	٧	لا يوجد	محاري - تحت محاري	٢,٦	يمتاز عن الكالسيت بالصلادة العالية وبمكسره المحاري
أورثوكليز Orthoclase $KAlSi_3O_8$	أبيض، رمادي، أخضر، أحمر، (لحم الهوانم)	زجاجي - لؤلؤي	عديم اللون أو أبيض	٦	في اتجاهين	غير مستو	٢,٦	يوجد في عروق البيجماتيت وصخور الجرانيت
ميكروكلين Microcline $KAlSi_3O_8$	أبيض، أصفر فاتح أو أحمر وأحيانا أخضر مزرق	زجاجي - لؤلؤي	عديم اللون أو أبيض	٦ - ٦,٥	في اتجاهين	غير مستو	٢,٦	يوجد في عروق البيجماتيت وصخور الجرانيت
ليوسايت Leucite $KAlSi_2O_6$	أبيض، رمادي مدخن	زجاجي	أبيض	٥,٥-٦	لا يوجد	محاري	٢,٥	يوجد في هيئة بلورات ذات مقطع سداسي موجود في صخور السيانيت
نفلين Nepheline $(NaK)AlSiO_4$	أبيض إلى أصفر أحيانا له صبغة بنية أو حمراء أو خضراء	زجاجي - دهني	أبيض	٥,٥-٦	في ثلاثة اتجاهات	غير مستو	٢,٦	يوجد في الصخور النارية وعروق البيجماتيت الخالية من الكوارتز
صوداليت Sodalite $Na_8(AlSiO_4)_6Cl_2$	أزرق أو رمادي	زجاجي	عديم اللون	٥,٥-٦	لا يوجد	محاري إلى غير مستو	٢,٣	يتميز بلونه الأزرق المميز ويذوب في الحامض HCl

ـدول (١٧)

المعـدن	اللون	البريق	المخدش	الصلادة	الانفصام	المكسر	الثقل النوعي	ملاحظـــات
ـ أنورثايت Albite $NaAlSi_3O_8$ Anorthite $CaAl_2Si_2O_8$	أبيض، رمادي أحيانا له صبغة خضراء، صفراء أو أحمر (نادرا)	زجاجي	عديم اللون	٦	في اتجاهين	غير مستوٍ	٢,٧	تتميز بعض أنواع البلاجيوكليز (لابرادورايت) بخاصية تغيّر الألوان
ڤايت Muscovite $KAl_3Si_3O_{10}(OH$	عديم اللون أو أخضر فاتح	زجاجي - لؤلؤي	أبيض أو عديم اللون	٢ - ٢,٥	في اتجاه واحد	مرن	٢,٨	يمتاز بمرونة وشفافية صفائحية، يسمى الميكا البيضاء
ت Biotite $K(Mg,Fe)_3AlSi_3$ $O_{10}(OH)_2$	أسود إلى بني غامق	زجاجي - لؤلؤي	عديم اللون	٢,٥ - ٣	في اتجاه واحد	مرن	٣,٢	يمتاز عن الميكا البيضاء بلونه الداكن كما يسمى بالميكا السوداء
نيـن Serpentine $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$	أخضر أو أسود مخضر أو أخضر زيتوني	دهني حريري أو قاتم	أبيض أو أخضر عشبي	٢,٥	لا يوجد	محاري	٢,٦	يمتاز بلون مخدشه، ينتج من التحلل الكيميائي لمعدن الأولفين
ك Talc $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	أبيض، أخضر تفاحي رمادي أو ما يسمى بأخضر جبلي	لؤلؤي	أبيض	١	جيد في اتجاه واحد	محاري	٢,٨	يمتاز بملمسه الصابوني وصلادته المنخفضة
ليـن Tourmaline NaMgFeAlLi silicate	أسود عادة أو أخضر أزرق أو أحمر	زجاجي	أبيض أو عديم اللون	٧ - ٧,٥	لا يوجد	غير مستوٍ إلى محاري	٣,٢	يوجد بوفرة في عروق البيجماتيت
ـت Augite (CaNa) (MgFeA $(AlSi_2)O_6$	أخضر قاتم إلى أسود	زجاجي	أبيض، أخضر أو بني فاتح	٥ - ٦	جيد في اتجاهين	غير مستوٍ	٣,٥	يشكل معدنًا أساسيًا في الصخور القاعدية وخاصة الجابرو والبازلت
سايد Diopside $Ca(Mg)Si_2O_6$	أبيض إلى أخضر فاتح	زجاجي قاتم	أبيض - أخضر فاتح	٥,٥ -٦	في اتجاهين	غير مستوٍ	٣,٣	يوجد في الصخور المتحولة والنارية القاعدية
لنـد Hornblende complex NaCaMgFeAlOI silicate	أسود - أخضر قاتم	زجاجي	عديم اللون أبيض، أحيانا أخضر خفيف	٥ - ٦	جيد في اتجاهين	محاري	٣,٤	من المعادن المهمة المكونة للصخور فوق القاعدية والمتحولة (الأمفيبولايت)

العناصر وأهم خاماتها المعدنية

العنصر وخاماته		التركيب الكيميائي
١ - الألومنيوم	**Aluminum**	**Al**
كورندم	Corundum	Al_2O_3
بوكسيت	Bauxite	Mix, Al_2O_3
جبسايت	Gibbsite	$Al(OH)_3$
سبينل	Spinel	$MgAl_2O_4$
كريوليت	Cryolite	Na_3AlF_6
تركواز (فيروز)	Turquoise	$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 4H_2O$
أمبلوجونيت	Amblygonite	$LiAl(PO_4)F,OH)$
٢ - الأنتمون	**Antimony**	**Sb**
ستبنايت	*Stibnite*	Sb_2S_3
٣ - الزرنيخ	**Arsenic**	**As**
ريلجار	Realgar	AsS
أوربيمنت	Orpiment	As_2S_3
٤ - الباريوم	**Barium**	**Ba**
بارايت	Barite	$BaSO_4$
ويذيرايت	Witherite	$BaCO_3$
٥ - البزموث	**Bismuth**	**Bi**
٦ - الكالسيوم	**Calcium**	**Ca**
فلورايت	Flourite	CaF_2
كالسيت	Calcite	$CaCO_3$
اراجونيت	Aragonite	$CaCO_3$
أباتيت	Apatite	$Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$
أنهيدرايت	Anhydrite	$CaSO_4$
جبس	Gypsum	$CaSO_4 . 2H_2O$
٧ - الكربون	**Carbon**	**C**
الماس	Diamond	C
جرافيت	Graphite	C

Co	**Cobalt**	٨ - الكوبالـــت
CoAsS	Cobaltite	كوبالتيت
$Co_3(AsO_4)_2 8H_2O$	Erythrite	ارثيرايت

Cu	**Copper**	٩ - النحـــــاس
Cu_2S	Chalcocite	كالكوسايت
Cu_5FeS_4	Bornite	بورنيــت
CuS	Covellite	كوفيللايت
$CuFeS_2$	Chalcopyrite	كالكوبايرايت
Cu_3AsS_4	Enargite	انرجيـــت
$(CuFeZnAg)_{12}Sb_4S_{13}$	Tetrahedrite	تتراهيدرايت
Cu_2O	Cuprite	كوبرايـــت
$Cu_2CO_3(OH)_2$	Malachite	ملاكايـــت
$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	Azurite	أزورايـــت
$Cu_6(Si_6O_{18}).6H_2O$	Dioptase	دايوبتاس
$CuSiO_3.2H_2O$	Chrysocolla	كرسوكولا

Au	**Gold**	١٠- الذهـــب
Au	Gold	الذهــــب
(Au,Ag)Te_2	Calaverite	كلافيرايـت
(AuAg)Te_2	Sylvanite	سيلفانايت

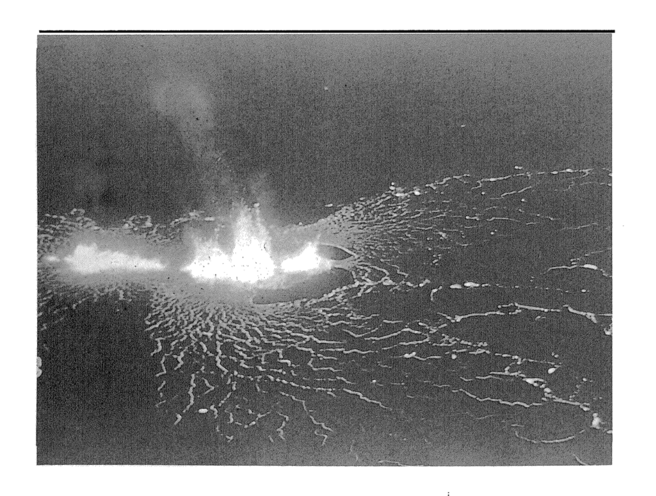
Fe	**Iron**	١١- الحـديد
FeS_2	Pyrite	بايرايت
FeS_2	Marcasite	ماركاسايت
FeAsS	Arsenopyrite	أرزينوبايرايت
Fe_2O_3	Hematite	هيماتايت
Fe_3O_4	Magnetite	ماجنيتايت
(FeZnMn)$(FeMn)_2O_4$	Franklinite	فرانكلينيت
$FeCr_2O_4$	Chromite	كرومايت
FeO.OH	Goethite	جيوثايت
FeO(OH).NH_2O	Limonite	ليمونايت
$FeTiO_3$	Ilmenite	المينايت
$FeCO_3$	Siderite	سيديرايت
(FeMn)WO_4	Wolframite	ولفرامايت

Formula	Mineral	المعدن
Pb	**Lead**	**١٢- الرصاص**
PbS	Galena	جالينا
$Pb_4FeSb_6S_{14}$	Jamesonite	جمسونايت
$PbCuSbS_3$	Bournonite	بورنونيت
$Pb_5Cl(PO_4)_3$	Pyromorphite	بيرومورفايت
$Pb_5Cl(AsO_4)_3$	Mimetite	ميميتايت
$Pb_5Cl(VO_4)_3$	Vanadinite	فانادينيت
$PbCO_3$	Cerussite	سيروسايت
$PbSO_4$	Anglesite	أنجلسيت
Mg	**Magnesium**	**١٣- المغنسيوم**
$Mg(OH)_2$	Brucite	بروسايت
$MgCO_3$	Magnesite	ماجنيزايت
$Mg_3B_7O_{13}Cl$	Boracsite	بوراسايت
$CaMg(CO_3)_2$	Dolomite	دولومايت
Mn	**Manganese**	**١٤- المنجنيز**
MnO_2	Pyrolusite	بيرولوسايت
$MnO(OH)$	Manganite	منجانيت
$(BaH_2O)_2Mn_5O_{10}$	Psilomelane	بسيلوملين
Hg	**Mercury**	**١٥- الزئبق**
HgS	Cinnabar	سنيبار
	Molybdenum	**١٦- الموليبدنيم**
MoS_2	Molybdenite	موليبدنيت
$PbMoO_4$	Wulfenite	ولفينيت
Ni	**Nickel**	**١٧- النيكل**
NiS	Millerite	ملليرايت
$NiAs$	Niccolite	نيكولايت
$(NiMg)SiO_3.nH_2O$	Garnierite	جارنيرايت
Pt	**Platinum**	**١٨- البلاتين**
Pt	Platinum	البلاتين
Si	**Silicon**	**١٩- السيليكون**
SiO_2	Quartz	كوارتز
$SiO_2.nH_2O$	Opal	أوبال

٢٠- الفضــــة	Silver	Ag
ارجنتيت	Argentite	Ag_2S
بيرارجيرايت	Pyrargyrite	Ag_3SbS_3
بروستايت	Proustite	Ag_3AsS_3
سيرارجيرايت	Cerargyrite	AgCl
٢١- البوتاسيوم	Potassium	K
سلفيــت	Sylvite	KCl
٢٢- الصوديــوم	Sodium	Na
هاليــت	Halite	NaCl
بوراكـس	Borax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$
٢٣- الاسترونشيـم	Strontium	Sr
سلستيـت	Celestite	$SrSO_4$
سترونتينيت	Strontianite	$SrCO_3$
٢٤- الكبريــت	Sulphur	S
٢٥- القصديــر	Tin	Sn
كاستيرايـت	Casseterite	SnO_2
٢٦- التيتانيـوم	Titanium	Ti
روتيــل	Rutile	TiO_2
أوكتاهيدرايت	Octahedrite	TiO_2
بروكايــت	Brookite	TiO_2
٢٧- اليورانيـوم	Uranium	U
يورانينيت	Uraninite	UO_2UO_3
بتشبلنـد	Pitchblende	U_3O_8
٢٨- الـزنـــك	Zinc	Z
سفالبرايت	Sphalerite	ZnS
زنكيــت	Zincite	ZnO
سمشونايـت	Smithsonite	$ZnCO_3$

الفصل الثاني

الصخور Rocks



الصخـــور الناريـــة

- تصنيف الصخور النارية
  - الصخور الحمضية (الفلسية)
  - الصخور المتوسطة
  - الصخور القاعدية (المافية)
  - الصخور الفوق القاعدية (الفوق المافية)

الصخـــور الرسوبيـة

- تصنيف الصخور الرسوبية
  - الصخور الميكانيكية النشأة
  - الصخور الكيميائية النشأة
  - الصخور العضوية النشأة

الصخـــور المتحولـــة

- عمليات التحول
- أنواع التحول
- تصنيف الصخور المتحولة
  - الصخور المتحولة المتورقة
  - الصخور المتحولة غير المتورقة

الصخور Rocks

تتكون القشرة الأرضية أو ما يعرف بالغلاف اليابس Lithosphere من أنواع مختلفة من الصخور. ويعرّف الصخر عادة بأنه وحدة تركيب الأرض أو مادة طبيعية صلبة تتكون أساسًا من أكثر من معدن أو خليط معدني؛ وإن كانت هناك صخور تتكون من معدن واحد، مثل الدولومايت. ويشترط في الصخر أن يكون جزءًا من القشرة الأرضية.

وفي العادة يتراوح عدد المعادن المكونة للصخر الواحد بين ٥ ـ ١٠ معادن. كما أن هناك بعض الصخور التي تتكون من أصل عضوي، مثل الفحم Anthracite ، أو تلك المتكونة نتيجة تكدس بقايا هياكل الكائنات الحية. تصنف الصخور المكونة للغلاف اليابس وفقًا لطريقة نشأتها إلى ثلاثة أنواع رئيسة: (نارية ومتحولة ورسوبية) ويختلف كل نوع منها عن الآخر في طريقة تكوينها وظروف نشأتها.

فالصخور الأولية المتبلورة بصفة عامة هي تلك التي نشأت عن تصلب (تجمد) مواد منصهرة تعرف بالقطر أو (المجما magma) إما في أعماق القشرة الأرضية، لتكوّن ما يعرف بالصخور العميقة ـ السحيقة (البلوتونية) Plutonic rocks ؛ أو على أعماق ضحلة لتكوّن الصخور تحت السطحية (فوق الجوفية) Hypabyssal rocks ؛ أو هي تتصلب في أثناء خروج الماجما إلى سطح الأرض، كما هو الحال في الحمم (اللابة Lava)، لتكوّن ما يعرف بالصخور البركانية Volcanic rocks. وجميع هذه الأنواع الثلاثة تكوّن ما يعرف بالصخور النارية Igneous rocks.

أما الصخور الثانوية، فهي تلك التي تكون طريقة تكوينها عبارة عن عملية منظورة وتعطي صخورًا واضحة في المواد والكيفية التي تكونت بها فإنها تعرف باسم الصخور الرسوبية (الثانوية) Sedimentary rocks ، وهي تلك التي تكونت نتيجة للعمليات الميكانيكية أو الكيميائية أو العضوية المؤثرة على صخور سابقة التكوين، ثم ترسبت نواتجها من جديد في أحواض الترسيب المختلفة بعد نقلها بواسطة عوامل النقل المختلفة (المياه ـ الجليد ـ الرياح ـ فعل الجاذبية.. الخ) في صورة مدحرجة أو معلقة أو كمحاليل. ثم تتماسك المواد المترسبة إما نتيجة

للثقل الناجم عن تراكم الكميات الهائلة من الرواسب بعضها فوق بعض، أو بفعل مواد لاحمة تلحم حباتها؛ وأحيانًا يتم التماسك (التصلب) نتيجة ارتفاع الضغط والحرارة الناتجين عن الحركات الأرضية، مثل الحركات البانية للجبال.

والصخور المتحولة Metamorphic rocks هي أكثر الأنواع الصخرية غموضًا، لأنها ليست ذات أصل واحد ولا تتكون دائمًا على السطح، وتظهر كنواتج للتفاعلات الكيميائية، أو لتأثير كل من الضغط والحرارة على الصخور المكونة للقشرة الأرضية على أعماق بعيدة عن السطح حيث ينعدم تأثير عوامل التعرية خلال فترة زمنية طويلة تتم خلالها إعادة تبلور الصخر جزئيًا أو كليًا. لذلك يمكن القول إن الصخور المتحولة تتكون عندما تتغير معالم الصخر الأساسي (ناري أو رسوبي) تغيراً جزئيًا أو كليًا، وتكتسب صفات جديدة من حيث التركيب المعدني Mineral composition ، أو التركيب الكيميائي Chemical composition ، أو النسيج Texture. وتعرف العمليات المسؤولة عن التغيرات المذكورة باسم عمليات التحول Metamorphism.

مما سبق؛ يمكن تمييز أنواع الصخور الثلاثة الرئيسة بصفة أولية، فنقول في الصخور الرسوبية مايلي:

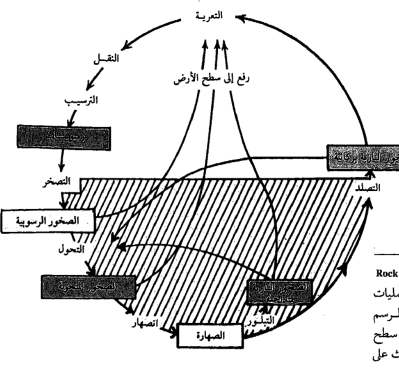
١ - إنها توجد في القشرة الأرضية في هيئة طبقات.

٢ - إنها تحتوي على بقايا حيوانات وأصداف متحجرة تسمى أحافير Fossils.

٣ - إنها غير واضحة التبلور.

أما في الصخور النارية فتنعدم خاصية التطابق ووجود الأحافير؛ وإذا وجدت أحافير في الصخور المتحولة فتكون مشوّهة أو تتحول تاركة آثارًا تدل على سابق وجودها. كما نلاحظ كذلك أن الصخور النارية توجد في حالة متبلورة، ويندر وجودها في الصخور الرسوبية، كما توجد على هيئة كتل ومتداخلات لا طبقية Non stratified intrusions. أما الصخور المتحولة، فتمتاز بأن مكوناتها المتبلورة (البلورات) تترتب في نظام صفائحي لتلائم بذلك الضغوط الجديدة التي أثرت عليها.

والصخور بوجه عام لها في الطبيعة دورة تعرف باسم الدورة الصخرية Rock cycle أو دورة التغير أو التحول؛ فبواسطة العمليات الباطنية والسطحية المختلفة المؤثرة على القشرة الأرضية قد تقترب الصخور العميقة الأولية من سطح الأرض وتتعرى وتتفتت إلى مواد تنقل غالبيتها إلى البحر في هيئة محاليل ومعلقات صلبة حيث تترسب؛ وتتصلب لتصبح بعد ذلك صخرًا رسوبيًا.



شكل رقم (٥). الدورة الصخرية Rock cycle لاحظ أن الصخور والعمليات في الجزء المخطط من الرسم تحدث عادة تحت سطح الأرض، بينما البقية تحدث على السطح أو بالقرب منه (عن: Dietrich, 1983).

وتتغير هذه الصخور الرسوبية عادة نتيجة لثقل الرواسب الصخرية التي تتجمع فوقها، أو نتيجة لارتفاع درجة الحرارة نظرًا للعمق الذي أصبحت توجد فيه، أو بواسطة الأبخرة والغازات الناتجة عن صخور نارية لاحقة وقريبة تتغير إلى صخور صفائحية ومتبلورة أكثر تماسكًا تسمى بالصخور المتحولة؛ وتتكرر هذه الدورة إلى ما لا نهاية. وكثيرًا ما يقال إن الدورة الصخرية عبارة عن مرحلتين: الأولى هدم، والثانية بناء.

الصخور النارية
Igneous Rocks

هي عبارة عن صخور كتلية Massive لا طبقية Non-stratified متبلورة بصفة عامة نشأت نتيجة التبريد والتجمد أو التصلب الحاصل لمواد منصهرة تعرف بالقطر (المجما Magma)، ومنها الحمم - اللابة (اللافا Lava) التي تصعد إلى السطح من باطن الأرض ويمكن مشاهدتها. وتحدث عملية التصلد مع التبريد على السطح أو بعيدًا عن السطح.

وتمتاز الصخور النارية عمومًا بأنها متبلورة أو زجاجية وخالية مما يسمى بالأحافير؛ وهي شديدة الصلابة، عديمة المسام، ومتماسكة، وتوجد في هيئة كتل Masses أو متداخلات كبيرة في صخور أقدم أو قواطع صغيرة Dykes (جدد)، وسدود Sills.

تصنيف الصخور النارية
Classification of Igneous Rocks

هناك عدة طرق لتصنيف الصخور النارية يعتمد كل منها على صفات أو خصائص معينة.. أهمها مايلي:

١ - كيفية الوجود (مكان التصلب) Mode of occurrence
٢ - النسيج Texture
٣ - التركيب الكيميائي Chemical composition
٤ - التركيب المعدني Mineral composition
٥ - اللون Colour

١ - كيفية الوجود (مكان التصلب)
Mode of Occurrence

تتبلور بعض الصخور النارية تحت سطح الأرض في أثناء صعود القطر (المجما) عبر الفجوات والشقوق حيث يخف الضغط، وتتصلب لتكون صخورًا جوفية (متدخلة) Intrusive rocks؛ وهذه تنقسم بدورها إلى نوعين:

ا) الصخور الجوفية (سحيقة - بلوتونية) Plutonic or deep seated rocks: وتتميز بالنسيج الكامل التبلور Holocrystalline الخشن الحبيبات Phaneric coarse grained وهي توجد في هيئة كتل ومتداخلات.

ب) الصخور تحت السطحية (فوق جوفية) Hypabyssal rocks: وتتميز بأنها ذات حبيبات دقيقة يمكن تميزها بالعين المجردة، ولا تحتوي على زجاج Glass، ويسود فيها النسيج البورفيري (السماقي) Porphyritic texture. وهي توجد في هيئة قواطع أو سدود.

جـ) الصخور البركانية (السطحية) Volcanic or Surface Rocks

أما الصخور التي تتكون نتيجة لتصلب اللابة Lava على سطح الأرض، فهي تتميز بأنها ذات نسيج دقيق التحبب Fine grained غالبًا أو زجاجي Glassy ، وقد يظهر بها أحيانًا النسيج البورفيري Porphyritic texture . وتعرف بأنها صخور متخرجة Extrusive.

٢ ـ النسيـج Texture

في الفقرة السابقة، أشرنا إلى بعض أنواع الأنسجة التي قد تتميز بها بعض أنواع الصخور النارية دون توضيح لنوعية تلك الأنسجة. ويقصد بالنسيج الحجم النسبي لبلورات المعادن المكونة للصخر، شكلها وعلاقتها وطريقة ترتيبها، أي في عبارة أخرى العلاقة الشكلية والهندسية المتبادلة بين المكونات المعدنية والمادة الزجاجية في صخر مكون من مجموعة معادن متناسقة. ويعتمد النسيج عمومًا على مكان تبريد الصهير وطريقته ومعدله. ويمكن أن نقسم الصخور النارية من حيث النسيج إلى نوعين هما:

أ) صخور متبلورة Crystalline rocks

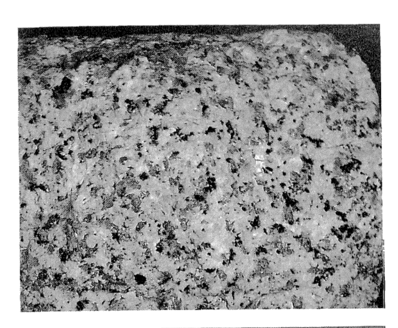
ب) صخور ذات نسيج فتاتي Clastic rocks

الصخور المتبلورة

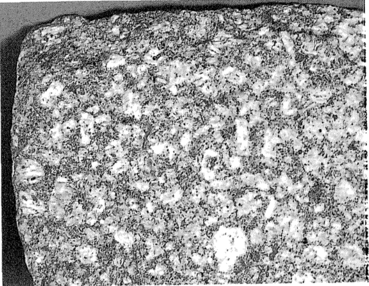
ا) نسيج خشن (كبير الحبيبات Phaneric texture : تمتاز الصخور الموضحة لهذا النسيج بأن بلورات معادنها نتجت عن التبريد البطيء، لذا نجدها كبيرة منتظمة التوزيع متساوية الحجم، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة.

ب) نسيج خشن الحبيبات «بورفيري» Porphyritic Phaneric Texture : تمتاز الصخور الموضحة لهذا النسيج بأنها تحتوي على نوعين من البلورات مختلفين في الحجم وزمن التبلور، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة. وتكوّن الصغرى منها أرضية الصخر Groundmass وتحيط البلورات الأكبر حجما والتي تسمى بالبلورات الظاهرة (فينوكريست Phenocryst).

جـ) نسيج دقيق الحبيبات Aphanitic texture : نلاحظ في هذا النوع من الأنسجة أن جميع بلورات المعادن المكونة للعينة الصخرية صغيرة في الحجم ولا يمكن تمييزها بالعين المجردة، بل بالعدسة المكبرة.



نسيج كبير الحبيبات (Nondadori, 1983



نسيج كبير الحبيبات (بورفيري) (Nondadori, 1983

د) نسيج دقيق الحبيبـات «بـورفيري» Porphyritic aphaniric texture : يلاحظ في هذا النوع من الأنسجة وجود بلورات الفينوكرست محاطة بأرضية مكـونـة بالكامل من بلورات دقيقة جدًا يمكن رؤيتها بالعدسة المكبرة أو المجهر.

هـ) نسيج زجاجي Vitreous texture : وهذا النسيج يشبه إلى حد كبير الزجاج العادي، أي لا يمكن مشاهدة أي بلورات فيه حتى ولو استخدم المجهر، وقد تكوّن نتيجة للتبريد السريع جدًّا، وهو نسيج مميز للصخور البركانية مثل الأوبسيديان Obsidian ، والزجاج البركاني الذي

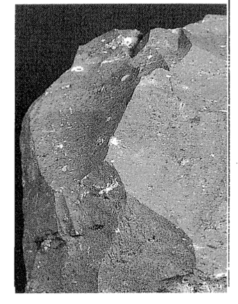
غالبًا ما يكون مليئًا بالفجوات (الفراغات) نتيجة لهروب الغازات منه منتجًا بذلك نسيجًا إسفنجيًا مثل الأسكوريا Scoria وحجر الخفاف Pumice.

و) نسيج زجاجي بورفيري (فتروفيري) Vitrophyric texture : في هذا النوع من الأنسجة، نلاحظ أن بلورات الفينوكرست تكون محاطة بالكامل بأرضية غير متبلورة.

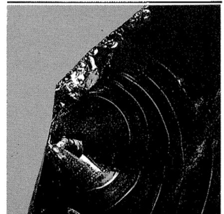
ز) نسيج فلسوفيري Phelsophyric texture : في هذا النوع من الأنسجة، نلاحظ أن بلورات الفينوكرست محاطة بأرضية مستترة أو خفيّة التبلور Cryptocrystalline يمكن تميزها فقط في هيئة تجمعات وذلك باستخدام المجهر.

صخور فتاتية

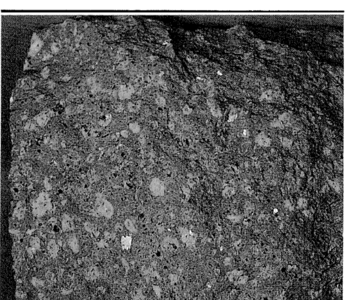
نسيج فتاتي Clastic or Fragmental Texture : في هذا النوع من الأنسجة، نلاحظ تلاصق القطع الصخرية المتنوعة الأشكال بعضها بالبعض الآخر والتي نتجت عن البركان، وهذه تكوّن أساسًا الصخور البركانية الفتاتية Pyroclastic rocks والرماد والزجاج البركاني المصاحب للانفجار، ويتم التلاصق بفعل الحرارة والضغط، أو بفعل المواد الكيميائية الصاعدة.



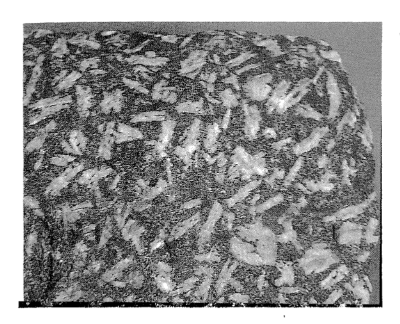
نسيج دقيق الحبيبات (Mondadori, 1983)



نسيج زجاجي (Mondadori, 1983)



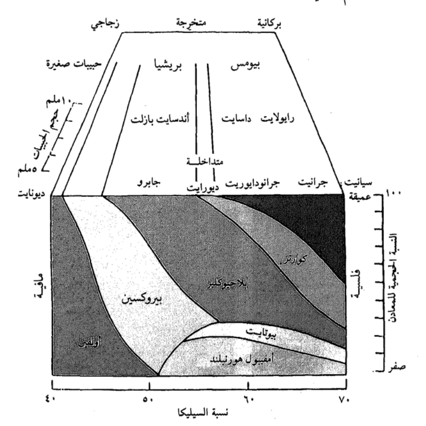
نسيج دقيق الحبيبات (بورفيري) (Mondadori, 1983)



نسيج فلسوفيري (Mondadori, 1983)

٣ ـ التركيب الكيميائي Chemical Composition

لقد قسمت الصخور النارية حسب محتواها من السيليكا (SiO_2) إلى الأقسام التالية:



شكل رقم (٦). توزيع المعادن الأساسية في الصخور النارية (عن: Press & Siever, 1986)

ا) صخـور فوق قاعـدية (فـوق مافـية) Ultrabasic rocks (Ultamafic) : تتميز هذه الأنواع من الصخور بالألوان القاتمة (أسود ـ بني ـ أخضر قاتم) وذلك بسبب ندرة المعادن الفاتحة فيها واحتوائها على نسبة عالية جدًا من معادن الحديد والمغنسيوم نظرًا لتبلورها في درجات الحرارة العالية، كما أنها فقيرة جدًا في السيليكا (أقل من ٤٣٪)؛ ومن أمثلتهـا صخـور الدونايـت Dunite والبريدوتايـت Peridotite.

ب) صخور قاعدية Basic rocks : تتميز هذه الأنواع من الصخور بالألوان الغامقة (بني ـ أخضر داكن) نظرًا لزيادة نسبة معادن الحديد والمغنسيوم فيها، كما أنها تتبلور في درجات حرارة عالية، وتتراوح نسبة السيليكا فيهـا مـا بين (٤٣٪ ـ ٥٢٪)؛ ومـن أمثلتهـا صخـر الجابـرو Gabbro والبـازلت Basalt.

جـ) صخور متوسطة Intermediate rocks : تتميز هذه الأنواع من الصخـور بالألوان الفاتحة نوعًا ما (الرمادي والأخضر الفاتح) مع قلة نسبية في معـادن الحـديد ومغنسيوم مصحـوبة بزيادة في نسبة كل من المعادن الفاتحة والسيليكا؛ وهي تحتوي على نسبة من السيليكا تتراوح ما بيـن (٥٢٪ ـ ٦٥٪)؛ ومن أمثلتهـا صخـور الأنـديزايـت Andesite والديورايـت Diorite.

د) صخـور حمضـية Acidic rocks : تتـميز هذه الأنـواع من الصخور بالألوان الفاتحة نظرًا لأن المعادن التي تكونها مشبعة بالسيليكا، كما يوجـد بها معـدن الكـوارتـز (SiO_2) بشكل ملحوظ، وتتراوح نسبة السيليكا فيها ما بين (٦٥٪ ـ ٨٥٪)، ومن أمثلتها صخـور الجرانيـت Granite والرايولايـت Rhyolite.

٤ ـ التركيب المعدني Mineral Composition

مما لاشك فيه أن المكونات المعدنية للصخر تلعب دورًا رئيسًا في تحديد هوية الصخر. وعليه فإننا نجد أن المعادن المكونة للصخور النارية تنقسم إلى قسمين رئيسين :

ا) المعـادن الأسـاسية Essential minerals : وهي المعادن التي تتـوقف عليهـا صفات الصخر وخصائصه واسمه، وهي تكوّن حوالي ٩٥٪ من تركيبه، كما أن تعدد أنواع الصخور النارية هو نتيجة حتمية لاختـلاف نسب هذه المعـادن مثـل الكـوارتـز والفسلبـارات القلوية والبلاجيوكليز والميكا والأمفيبولايت والبيروكسينات والأوليفينات، ونادرًا أشباه الفلسبارات.

ب) المعادن الإضافية Accessory minerals: وهي غالبا ما توجد بأنواع متفاوتة ولكن بكميات ضئيلة عموما وليس لها أي تأثير على صفات الصخر أو اسمه، ولكن ترجع أهميتها إلى أنها تلقي الضوء على الأحوال الفيزيوكيميائية التي كانت سائدة عند تبلور الصهارة. فمثلا يشير وجود كميات ملحوظة من معدن التورمالين في الصخر إلى وجود البورن في الصهارة بكميات ملموسة، كما يشير وجود معدن الفلورايت إلى وفرة الفلورين.

ومما يجب الإشارة إليه أن وجود أي معدن أساسي في صخر ما لا يعني بالضرورة أنه معدن أساسي في صخر آخر، فالكوارتز والأورثوكليز مثلا يعتبران أساسيين في صخر الجرانيت، لكن الكوارتز إضافي في الديورايت، بينما الأورثوكليز إضافي في صخر الجابرو.

٥ ـ اللـــــون Colour

يمكننا القول إن لون الصخر الناري يختلف تبعا لنوعية تركيبه الكيميائي والمعدني، فالمعادن الغنية بالسيليكا عادة ما تكون فاتحة اللون ويطلق عليها (فلسية Felsic) ، في حين أن المعادن الفقيرة في السيليكا تكون قاتمة اللون، وتسمى (مافيّة Mafic) ؛ وبناء عليه أمكن تقسيم الصخور النارية إلى الأنواع التالية:

جدول رقم (١٨)

نـــــوع الصخــــــور		نسبة المعادن القاتمة ٪
١ ـ صخور فاتحة اللون	Salic - *leucocratic* rocks	٠ ـ ٣٠
٢ ـ صخور متوسطة اللون	Intermediate - *mesocratic* rocks	٣٠ ـ ٦٠
٣ ـ صخور قاتمة اللون	Mafic - *melanocratic* rocks	٦٠ ـ ٩٠
٤ ـ صخور فوق قاتمة اللون	Ultramafic - *hypermelanic* rocks	٩٠ ـ ١٠٠

وصف بعض الصخور النارية Description of Igneous Rocks

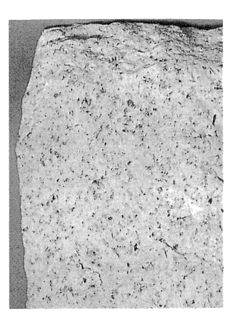
وبصفة عامة عند دراسة أي عينة من الصخور النارية ووصفها، نأخذ في الاعتبار العوامل التالية: لون العينة ـ حجم البلورات ـ شكل البلورات ـ نوع النسيج ـ التركيب المعدني. وفيما يلي نستعرض وصفًا لبعض الأنواع الرئيسة من الصخور النارية:

١ ـ الصخور الحمضية (الفلسية)
Acidic (Felsic) rocks

ومن أمثلتها الجرانيت والرايولايت والأوبسيديان وحجر الخفاف.

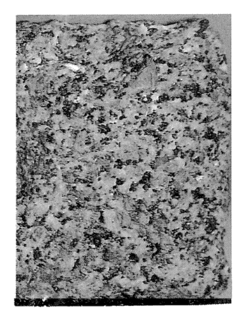
ا) الجرانيت Granite: وهو صخر جوفي ـ حمضي ـ فاتح اللون ـ خشن الحبيبات، يتكون من المعادن الأساسية التالية:

كوارتـز ـ فلسبـاربـوتاسي ـ (أرثوكليز أو ميكروكلين) ـ بلاجوكيز صودي (البايت وأحيانًا أوليجوكليز) ـ ميكا (بيوتايت أو مسكوفايت)؛ وقد يوجد فيه معدن الهورنبلند ولكن بنسبة أقل من المعادن السابقة؛ كما قد يحتـوي على بعض من المعادن الإضافية التالية: أباتيت ـ زيركون (زرقون) ـ ماجنيتايت ـ سفين، ويتميز الصخر بالنسيج الخشن، وقد يكـون كبـير الحبيبـات أو دقيقا، ولكن حبيباته دائمًا واضحة التبلور. ويكون معدن الكوارتز في بعض الأحيان رمادي اللون ويوجد على هيئة كتـل مستـديرة وغـير منتـظمـة تملأ المسـافات البينية لبلورات المعادن الأخرى، أما الفلسبارات، فقد تظهر بألوان وردية إلى حمراء وأحيانًا بيضاء.



رايولايت (Mondadori, 1983)

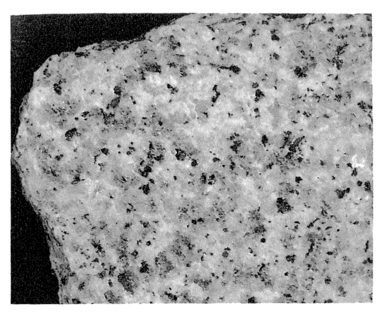
ب) الرايولايت Rhyolite : وهو صخر بركاني ـ حمضي ـ ذو تركيب معدني شبيه بتركيب الجرانيت، ولكنه يختلف عنه في النسيج، فهو ذو حبيبات دقيقة لا ترى بالعين المجردة، أو زجاجي أو بورفيري. ويلاحظ فيه تجمع معادن الفلسبار وظهورها في هيئة كتلة واحدة، في حين تنتشر من حولها حبيبات الكوارتز والبيوتايت. لونه فاتح، أو أبيض أو رمادي، وله ظلال من اللون الأحمر.



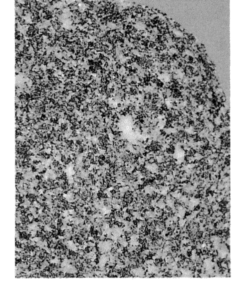
سيانايت (Mondadori, 1983)

ج) الأوبسيديان Obsidian : وهو صخر كتلي ـ بركاني ـ زجاجي النسيج ـ يتراوح لونـه من البني إلى الأسـود نتيجـة لوجـود رقـائق من المـاجنيتـايت ومعادن سيليكات الحديد ومغنسيوم، كما أن معظم أنواع الأوبسيديان غنية بالسيليكا، وتركيبها الكيميائي يشبه تركيب كل من الجرانيت والرايولايت.

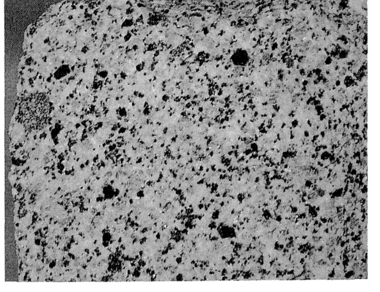
د) حجـر الخفاف Pumice : وهو صخر بركاني ـ رايوليتي يشبه رغوة متحجرة ـ مسامي ـ خفيف الوزن وأسفنجي النسيج لونه فاتح، رمادي إلى داكن.



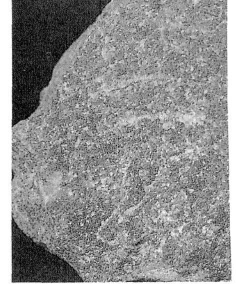
جرانيت (Mondadori, 1983)



ديورايت (Mondadori, 1983)



جرانوديورايت (Mondadori, 1983)



ديونايت (Mondadori, 1983)

٢ ـ الصخور المتوسطة Intermediate rocks

ومن أمثلتها الدايورايت والأنديسايت.

ا) الدايورايت Diorite : وهو صخر جوفي ـ خشن الحبيبات ـ ذو لون انتقالي بين الفاتح والغامق، مكوناته تقع بين الجرانيت والجابرو، ومن أهم المعادن الداخلة في تركيبه الهورنبلند والبيروكسين، في حين توجد به نسبة عالية من البلاجوكليز الصودي والكلسي، بينما تقل به نسبة الفلسبار البوتاسي، وغالبًا ينعدم فيه وجود الكوارتز؛ ونظرًا لكثرة المعادن المعتمة فيه، فإن لونه يميل إلى الرمادي الفاتح.

ب) الأنديسايت Andesite : وهو صخر بركاني ـ متوسط يشبه الدايورايت في تركيبه الكيميائي والمعدني، رغم قلة الكوارتز فيه، ذو نسيج دقيق الحبيبات جدًّا، معادنه الملونة تتمثل في الأوجايت والهورنبلند؛ لونه رمادي إلى أسود، وهو أكثر انتشارًا من الرايولايت وأقل من البازلت.

٣ ـ الصخور القاعدية (المافية) Basic (mafic) rocks

ومن أمثلتها الجابرو والبازلت.

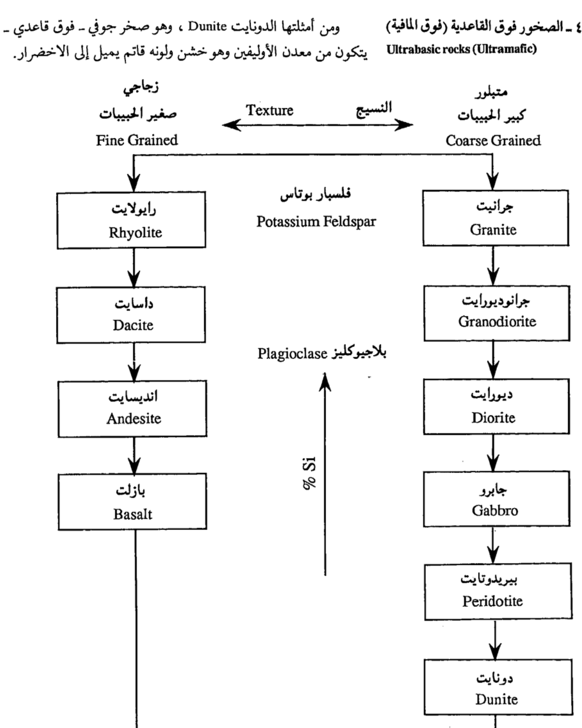
ا) الجابرو Gabbro : وهو صخر جوفي ـ قاعدي ـ خشن الحبيبات ـ يتكون أساسًا من المعادن الغنية بالحديد ومغنسيوم، مثل الأوجايت والأوليفين وكمية لا بأس بها من الهورنبلند، وكذا معادن البلاجوكليز الكلسي، وأحيانًا الكوارتز ولكن بكميات ضئيلة جدًّا أو معدومة، ولونه يتراوح من الرمادي الداكن إلى الأسود المخضر.

ب) البازلت Basalt : وهو صخر سطحي ـ قاعدي ـ لونه قاتم إلى رمادي غامق نظير صخر الجابرو في تركيبه، ويتكون من المعادن الأساسية التالية:

بلاجيوكليز (لابرادورايت ـ وبايتونايت)، بيروكسينات (أوجايت ـ دايوبسايد ـ وأنستاتيت وهايبرثين)، أوليفين وأمفيبول علاوة على احتوائه على الماجنيتايت كمعدن إضافي. ويتميز البازلت بنسيج دقيق الحبيبات أوبورفيري دقيق حيث توجد البلورات الواضحة على أرضية مستترة التبلور أو زجاجية، وأحيانًا يحتوي على فجوات نتيجة لهروب الغازات المحبوسة في الطفوح قبل تصلبها، وتملأ تلك الفجوات فيها بعد بمعادن ثانوية لتكون ما يسمى بالنسيج اللوزي Amygdaloidal.

٤ ـ الصخور فوق القاعدية (فوق المافية) Ultrabasic rocks (Ultramafic)

ومن أمثلتها الدونايت Dunite ، وهو صخر جوفي ـ فوق قاعدي ـ يتكون من معدن الأوليفين وهو خشن ولونه قاتم يميل إلى الاخضرار.



شكل رقم (١٩). تصنيف الصخور النارية على أساس النسيج

الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

وهي مجموعة من الصخور التي تكونت نتيجة تفتت وتكسير صخور سابقة [نارية كانت أو متحولة أو رسوبية] وذلك بفعل عوامل التعرية المختلفة Weathering agents أو نتيجة لتجمع بعض المواد التي خلفتها أو أفرزتها حيوانات أو نباتات؛ وقد تم ترسيب المواد الناتجة عن التعرية تحت ظروف عادية من الضغط والحرارة في مكان التفتت نفسه، أو بعد نقلها إلى مكان آخر بعوامل النقل المختلفة، كالماء الجاري أو الرياح أو المثالج.

وبعد عملية الترسيب، تتصخر هذه الرواسب، أي تتماسك وتتصلد مكوناتها المختلفة نتيجة للضغط الواقع عليها من الرسوبيات التي تتجمع فوقها؛ وقد تتماسك بواسطة مادة لاحمة Cementing material تكون عادة كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد؛ وتعرف هذه الصخور باسم الصخور الطبقية Stratified rocks (أو الصخور الثانوية Secondary rocks) لأنها توجد في هيئة طبقات Strata تتفاوت في السمك من ملليمترات إلى مئات الأمتار؛ وإذا زاد السمك عن ١سم، سميت طبقة؛ وإذا قل عن ذلك سميت رقيقة أو صفيحة Lamina. كما أن هناك أنواعًا من هذه الصخور بلا طبقات، مثل رواسب المثالج (المجامد) Glaciers ورواسب الرياح التي لا تكون طبقاتها واضحة تمامًا أو تكون طبقاتها كاذبة، ويعزى سبب وجود معظم الصخور الرسوبية في طبقات مختلفة التركيب أو اللون أو السمك إلى التوقف المؤقت في الترسيب، أو إلى تغير الظروف الفيزيوكيميائية في بيئة الترسيب.

ومن أهم مميزات الصخور الرسوبية كذلك احتواؤها على الأحافير، واستدارة حبيباتها عند انتقالها مسافات كبيرة قبل ترسيبها وتصلدها؛ كما أنها غالبا لا تتكون من معادن واضحة التبلور، ولها عموما أهمية اقتصادية كبيرة نظرًا لتكوين كثير من المعادن الخام فيها، علاوة على كثرة وجود مسام وفجوات بها تسمح باستضافة الغازات أو الماء أو البترول فيها.

التركيب المعدني Mineral Composition

التركيب المعدني للصخور الرسوبية عادة محدود ويتوقف على نوعية صخور المصدر ونواتج عملية التجوية فيها والتي تعطي بدورها ثلاثة أنواع من المواد التي تصبح فيما بعد صخورًا رسوبية وهي :

١ - النواتج الأولية الثابتة
Survival products

وتشمـل المعادن والحبيبات والكسرات الصخرية المقاومة للتجوية الكيميائية كافة.

٢ - نواتج التحلل الثانوية
Alteration products

وهي عبارة عن المعادن الجديدة التي تنشأ نتيجة للتغيرات الكيميائية في الصخر الأصلي.

٣ - النواتج المذابـة
Dissolved products

وهي المعادن التي قد تنشأ بعد الترسيب نتيجة لتبخر المحاليل أو تفـاعلها بين الحبيبات. وعمومًا، يمكن القول إن الصخور الرسوبية عبارة عن مزيج أو خليط من عدة معادن أمكن التعرف حتى الآن على ما يقـرب من ١٥٠ معـدنًا منها، إلا أن معظمها نادر الوجود. وهناك عشرون معدنًا فقط تكوّن حوالي ٩٩٪ من مكونات الصخور الرسوبية.

والجدول رقم (٢٠) يوضح بعض المعادن الشائعة في هذه الصخور حسب كثرتها النسبية.

جدول رقم (٢٠). قائمـة بأكثـر المعـادن شيـوعًا مرتبة حسب كثرتها النسبية في الصخور الرسوبية

المعادن	أكثر من ١٠٪ من الصخر	أقل من ١٠٪ من الصخر	أقل من ١٪ من الصخر (معادن إضافية)
معادن فتاتية Detrital Minerals	كوارتز Quartz معادن طينية Clay, Minerals ميكا دقيقة الحبيبات Fine grained mica	شيرت فتاتي Detrital Chert ميكاخشنة الحبيبات Coarse grained mica	أكاسيد حديد Iron oxides زيركون Zircon تورمالين Tourmaline إبيدوت Epidote جارنـت Garnet هورنبلند Hornblende
معادن كيميائية Chemical Minerals	كالسيت Calcite دولومايت Dolomite	شيرت Chert كوارتز ثانوي Secondary quartz جبـس Gypsum	أناتيز Anatase

ومن الملاحظ أن الجزء الأكبر من الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic rocks يتكون من رقائق معدنية مكسَّرة ومعرّاة حملت إلى أماكن الترسيب بواسطة عوامل النقل الميكانيكية المختلفة، وتسمى هذه بالمعادن الفتاتية Detrital minerals. أما المعادن الكيميائية أو غير الفتاتية Non-detrital minerals ، فإنها تنتج عادة من مواد مذابة ترسبت في أحواض الترسيب بالطرق الكيميائية أو البيوكيميائية.

ويرجع التباين في أنواع الصخور الرسوبية إلى اختلاف نسب الامتزاج بين المجموعتين المعدنيتين السابقتين، كما يتوقف الفتات في أي راسب على نوع صخر المصدر ودرجة تجويته وعامل النقل، والمسافة التي انتقلها في حين يعتمد تكوين الجزء غير الفتاتي (الكيميائي) على نوعية العمليات الطبيعية والكيميائية التي تحدث في مكان الترسيب.

تصنيف الصخور الرسوبية
Classification of Sedimentary Rocks

من الصعوبة بمكان تصنيف الصخور الرسوبية جميعها اعتمادًا على خاصية معينة فيها، فمثلاً تصنيف الصخور الفتاتية Detrital rocks على أساس أحجام حبيباتها أو نسيجها أو تركيبها المعدني لا نجد له فائدة تذكر عند التطبيق على الصخور الرسوبية الكيميائية.

فأي محاولة لوضع خطة تصنيفية واحدة تنطبق على الرواسب كافة ستقابل بالعديد من الصعوبات نظرًا لطبيعة المواد الرسوبية المتعددة التكوين. وعليه فقد ظل موضوع تصنيف الصخور الرسوبية وتسميتها من المشكلات الرئيسة التي واجهت المختصين في هذا المجال، وقد اقترحت عدة طرق مختلفة من التصنيفات أهمها مايلي:

١ ـ التصنيف الوصفي Descriptive classification
وهو يعتمد على خصائص أنسجة الرواسب أو على التركيب الكيميائي أو المعدني.

٢ ـ التصنيف على أساس النشأة Genetic classification
وهو يعتمد على عوامل النقل المختلفة أو على نوعية عمليات الترسيب أو بيئات الترسيب.

ومن أهم طرق التصنيف تلك التي قسمت الصخور الرسوبية تبعًا لطريقة تكوينها إلى ثلاثة أنواع رئيسة هي:

ا) صخور ميكانيكية النشأة (فتاتية) Mechanically formed rocks (clastic)

ب) صخور كيميائية النشأة Chemically formed rocks

جـ) صخور عضوية النشأة Organically formed rocks

أولاً: الصخور الميكانيكية النشأة Mechanically Formed Rocks

هي عبارة عن مجموعة من الصخور تتكون من الحبيبات المعدنية والكسر الصخرية Minerals grains and rock fragments الناتجة عن تفتيت صخور سابقة بفعل عوامل التعرية، ثم نقلت ميكانيكيًّا إلى حوض الترسيب (بفعل الرياح أو المياه أو المثالج أو الجاذبية الأرضية)، وهناك تصلدت دون أن يطرأ عليها تغيّر كيميائي كبير حيث رسبت بطريقة آلية ثم تماسكت فيما بعد.

جدول رقم (٢١). الحبيبات الرسوبية والصخور الرسوبية المناظرة لها

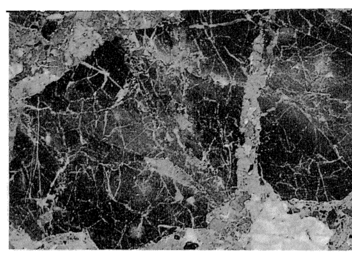
اسم الصخور	اسم الرسوبيات	اسم الفتيتة أو الحبيبات	الحجم/ ملم
حجر طيني أو طفل Claystone or shale	طين Clay	حبة طين Clay	أصغر من $\frac{١}{٢٥٦}$
حجر غريني Siltstone	غرين Silt	حبة غرين Silt	$\frac{١}{٢٥٦}$ - $\frac{١}{١٦}$
حجر رملي Sandstone	رمل Sand	حبة رمل Sand	$\frac{١}{١٦}$ - ٢
كونجلوميرات أو بريشيا	Gravel	حبيبة Granule	٢ - ٤
Conglomerate or	Gravel	حصي Pebble	٤ - ٦٤
Breccia	Gravel	زلط Cobble	٦٤ - ٢٥٦
	Gravel	جلمود Boulder	أكبر من ٢٥٦

وعلى أساس حجم الفتيتات أو الحبيبات وشكلها، إن كانت زاوية Angular ، أو مستديرة Rounded ، يمكن تصنيف الحبيبات إلى ثلاثة أنواع رئيسة هي:

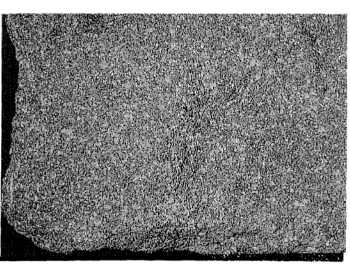
١ - كبيرة الحبيبات Coarse grained : وتوجد في جميع الصخور التي يزيد قطر حبيباتها على ٢ملم ومن أمثلتها: صخر الكونجلوميرات (القفف) بأنواعه Conglomerate ويلاحظ أن فتاته مستدير الحواف Rounded ، وصخر البريشيا Breccia بأنواعها، وفيها نجد للفتات حواف زاويّة Angular.

٢ - متوسطة الحبيبات Medium grained : وتوجد في جميع الصخور الرسوبية التي يتراوح قطر فتيتاتها ما بين ٢ملم إلى $\frac{١}{١٦}$ ملم، مثل

الحجر الرملي، أما تلك الصخور التي يتكون معظمها من حبيبات الكوارتز المستديرة الحواف أو الملتحمة بعضها ببعض بواسطة كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد، فتسمى على التوالي الحجر الرملي الجيري والحجر الرملي السيليسي والحجر الرملي الحديدي. وأما إذا كانت لحبيبات الصخر زوايا حادة، فيسمى الصخر حجر الطاحون Grit. وفي حالة تكون غالبية الصخر من حبيبات السيليكا والفلسبار الزاوية والملتحمة بمادة سيليسية يسمى الصخر Arkose. وإذا كانت حبيبات الصخر زاوية وفيها نسبة عالية من فتات الكوارتز والفلسبار على أرضية من معادن الحديد والمغنسيوم (ميكا ـ هورنبلند)، فإن الصخر يسمى حينئذ الجرايواك .Graywacke

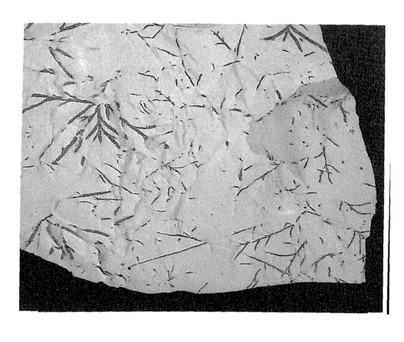


صخور ميكانيكية النشأة (كبيرة الحبيبات)
(Mondadori, 1983)



صخور ميكانيكية النشأة (متوسطة الحبيبات)
(Mondadori, 1983)

٣ ـ دقيقة الحبيبات Fine grained : وتتكوّن صخورها من فتيتات دقيقة لا يزيد حجم حباتها على $\frac{١}{١٦}$ ملم، مثل صخر المارل (الغضار) Marl وبه نسبة عالية من الجير والصلصال والطين الذي يحتوي على قليل من الماء (١٥٪)، ويعطي رائحة طينية عندما يبلل بالماء أو يتم التنفس عليه. وعند وجود الحبيبات الصلصالية الدقيقة منتظمة وفي هيئة رقائق متراصة بعضها فوق بعض مكوّنة بذلك صفائح يمكن فصلها، سمي الصخر بالطفل Shale. وإذا انعدمت فيه صفة التصفح سمي الصخر وحلًا أو حجرًا طينيًا Mud stone.



صخور ميكانيكية النشأة (دقيقة الحبيبات)
(Mondadori, 1983)

وعند القيام بوصف أي صخر ميكانيكي النشأة (فتاتي) يجب علينا معالجة الآتي:

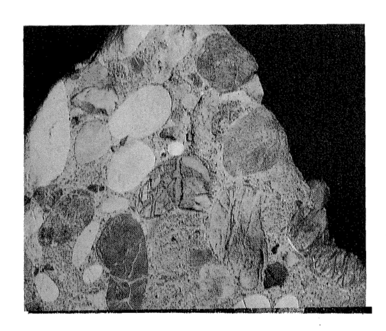
١ ـ حجم الحبيبات (يذكر قطر الحبيبات بالتقريب).
٢ ـ شكل الحبيبات (مستديرة ـ زاوية ـ تحت زاوية.. الخ).
٣ ـ درجة الفصل (جيدة ـ رديئة).
٤ ـ التركيب المعدني
٥ ـ المادة اللاحمة (كلسية ـ سيليسية... الخ).
٦ ـ نوعية البنية الموجودة (متصفح أو كتلي.. الخ).
٧ ـ محاولة التعرف على الصخر المصدر إذا أمكن.
٨ ـ الاسم المقترح للصخر.

وفيما يلي وصف لبعض هذه الصخور:

● الكونجلوميرات Conglomerate : يتكون هذا الصخر من قطع صخرية مختلفة الأصل والتركيب المعدني، حبيباتها مستديرة الحواف ويزيد قطرها على ٢ ملم، وتتماسك هذه القطع (حصباء - حصى - رمل خشن) فيما بينها بواسطة مواد لاحمة سيليسية - كلسية أو حديدية.

● حجر الرمل Sand stone : ويتكون هذا الصخر من حبيبات يتراوح قطرها ما بين (٢ - ١/١٦) ملم ولها حواف مستديرة أو تحت زاوية. أما مكوناته المعدنية فهي الكوارتز مع نسب بسيطة من كل من الفلسبار البوتاسي والبلاجوكليز ونسب ضئيلة جدًا من الزيركون والتورمالين والهورنبلند وبعض صفائح الميكا، إلا أننا نلاحظ أن الكوارتز هو المعدن المكون لمعظم الصخر. وتلتحم حبيباته بواسطة مواد لاحمة كلسية - سيليسية أو حديدية. وتعتبر هذه الصخور من نواتج تعرية وتكسير وتفتيت الصخور النارية الغنية بالكوارتز أو صخور أحجار الرمال القديمة.

● حجر الوحل «الطين» Mud stone : وهو عبارة عن صخر يتكون من حبيبات دقيقة لا يزيد قطرها على (١/١٦) ملم، ومكوناته المعدنية صلصالية مع الكوارتز، علاوة على الميكا والمعادن الطينية. ويتكون هذا الصخر نتيجة لفقدان الماء وتصلد الوحل؛ وقد يحتوي الصخر على بقايا عضوية أو نباتية متفحمة وذلك مما يضفي عليه الألوان القاتمة والسوداء. أما في حالة احتوائه على أكاسيد الحديد والمنجنيز، فإنه يظهر باللون الأحمر أو الأصفر أو الأسود.



صخر الكونجلوميرات (Mondadori, 1983)

جدول رقم (٢٢). الصخور الرسوبية الميكانيكية النشأة

اسم الصخر	بيئة الترسيب	التركيب المعدني	النسيـج	
كونجلوميرات (القف) Conglomerate	مياه بحرية ضحلة	قطع صخرية	كبيرة الحبيبات Coarsa grained	حبيبات خشنة أكبر من ٢ملم وذات حواف مستديرة
بريشيا Breccia	خلجان مقفولة ومياه بحرية ضحلة قريبة من المصدر			حبيبات خشنة أكبر من ٢ملم وذات حواف مزواة
الرمـل Sand	شواطىء بحرية وكثبان رملية (قارية)	كوارتز	حبيبات متوسطة Medium grained	حبيبات ما بين ٢ - ١/١٦ ملم من المستديرة إلى التحت مزواة أو المزواة
حجر الرمل Sandstone	شواطىء بحرية	كوارتز + معادن إضافية		
ا - حجر رمل كلسي Calcareous S.S.	أو نهريـة	المادة اللاحمة كربونات كالسيوم		
ب - حجر رمل حديدي Ferruginous S.S.	أو بحيرات	المادة اللاحمة حديدية (أكاسيد حديد)		
جـ - حجر رمل سيليسي Siliceous S.S.	وسط مائي	المادة اللاحمة سيليكا ثانوية		
الأركوز Arkose	رواسب زوارق	كوارتز + ٢٥٪ فلسبار على الأقل		
الجرايواك Graywacke	أرضيـة	كوارتز ما بين ٥٠ - ٧٥٪ + بيوتايت + هورنبلند فلسبار		
الطين (الصلصال) Clay	بحرية عميقة	معادن طينية + ١٥٪ ماء	حبيبات دقيقة Fine grained	دقيق الحبيبات، القطر أقل من ١/٢٥٦ ملم
الطفـل Shale	بحرية عميقة	كوارتز + معادن طينية		حبيبات دقيقة أقل من ١/٢٥٦ ملم ويمتاز الصخر بخاصية التفسخ وملمسه ناعم
حجر الوحل Mudstone	بحرية عميقة	كوارتز + معادن طينية		حبيبات دقيقة أقل من ١/١٦ ملم ناعم الملمس كتلي غير متصفح
الغريـن Silt	بحرية عميقة	كوارتز + معادن طينية		دقيق الحبيبات يتراوح قطرها ما بين ١/١٦ - ١/٢٥٦ ملم

ثانيا ـ الصخور الكيميائية النشأة
Chemically Formed Rocks

تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة نتيجة للتفاعلات الكيميائية المختلفة أو نتيجة التبخر الذّي يتم للمحاليل المائية المشبعة ببعض المواد الذائبة، ويعتمد التركيب المعدني للصخر على نوعية المواد المذابة في حوض الترسيب.

هذا وقد أمكن تصنيف الصخور الكيميائية النشأة على أساس تركيبها الكيميائي Chemical composition كما تدل عليه مكوناتها المعدنية إلى أقسام رئيسة ثلاثة هي :

١ ـ ***صخور رسوبية كلسية (جيرية) Calcareous sedimentary rocks*** : تنتج هذه الصخور عن العمليات الكيميائية المختلفة.

وتتكون أساسا من كربونات الكالسيوم، فبعض الصخور الجيرية المكونة من معدن الكالسيت ترسب من محاليل بيكربونات الكالسيوم نتيجة لفقدان غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2). وبعد إعادة ترسب الكربونات من المحاليل المائية المشبعة، قد يحدث أن تذيب مياه الأمطار صخر الحجر الجيري لتكوّن مغارات ينشأ فيها ما يعرف بالصواعد Stalagmites والهوابط Stalactites. كما أن الكالسيت قد يترسب في شكل كرات صغيرة تتجمع فيما بينها مكوّنة ما يسمى الحجر الجيري البطروخي (سرئيا) Oolitic limestone ، وذلك في بعض المناطق البحرية الضحلة والحارة المتأثرة بالأمواج القوية.

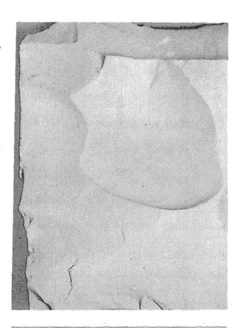
٢ ـ ***صخور رسوبية ملحية Saline sedimentary rocks*** : تتكون هذه الصخور في العادة نتيجة التبخر في المناطق الجافة القليلة المطر والحارة، ويكون تركيبها الأساسي أحد الأملاح مثل الملح الصخري Rock salt الذي يتكون من كلوريد الصوديوم NaCl أو الجبس Gypsum أو الأنهيدرايت Anhydrite ، وهذه توجد في البحيرات وفي البحار المختلفة.

٣ ـ ***صخور رسوبية سيليسية Siliceous sedimentary rocks*** :
تتكون هذه الصخور من مادة السيليكا المستترة التبلور التي تترسب من المحاليل الغروية Colloidal solutions الغنية بها. وتوجد في هيئة عقد Nodules أو درنات Concretions ، مثل حجر الصوان (الظّر) Flint ، وقد تظهر هذه الصخور السيليسية مصاحبة للحجر الجيري في شكل

عقد أو عدسات رقيقة من صخر الشيرت Chert ، وذلك نتيجة لزيادة نسبة السيليكا في الفجوات داخل الصخور الجيرية .

عند وصف أي عينة صخرية كيميائية النشأة يجب معالجة الآتي :

١ ـ لون الصخر.
٢ ـ حجم الحبيبات أو البلورات (تحديد القطر بالمليمتر بالتقريب) .
٣ ـ اختبار تفاعل الصخر مع الحامض .
٤ ـ اختبار مذاق الصخر.
٥ ـ البحث عن الأحافير.
٦ ـ استنتاج بيئة الترسيب إذا أمكن .
٧ ـ الاسم المقترح للصخر.



حجر الجير (Mondadori, 1983)



وفيما يلي وصف لبعض هذه الصخور:

أ) *حجر الجير* Limestone : هو عبارة عن صخر مكون أساسًا من كربونات الكالسيوم ، ويتراوح حجم حبيباته من الدقيقة الحجم جدًّا (لا ترى أحيانًا بالعدسة المكبرة) إلى المتوسطة والخشنة الحبيبات، وهي سهلة التفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المخفف، كما أن جميعها تترسب من محاليل غنية في بيكربونات الكالسيوم أما في البحار أو البحيرات .

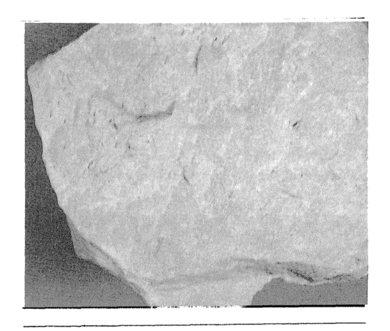
وقد يلاحظ في بعض الأحيان احتواء بعض أنواع الصخر على بقايا لكائنات حية Fossils. واعتمادًا على درجة النقاوة، يتراوح لون الصخر ما بين الأبيض والرمادي .



ب) *فلنت أو الصوان «الظّر»* Flint : ويتكون من السيليكا المتبلورة وغير المتبلورة، ويتراوح لونه ما بين الأسود والرمادي ، ويوجد غالبًا على هيئة عقد أو درنات Concretions مختلفة الأحجام . . بعض أنواعه بها شوائب ملونة مثل أكاسيد الحديد والمغنسيوم ، كما أنه مجهري الحبيبات .

ج) *الجبس* Gypsum : تكوّن هذا الصخر نتيجة لتبخر الماء المحتوي على كبريتات الكالسيوم المائية ـ المذابة في مياه البحار المقفلة أو البحيرات، وهو ذو لون أبيض أو عديم اللون، ويتكون من حبيبات دقيقة إلى خشنة . . وقد يوجد في هيئة كتل ذات هيئة ليفية، وغالبًا ما يظهر في هيئة طبقات أو صفائح .

ترافرتين (Mondadori, 1983)



دلومايت (Mondadori, 1983)

جدول رقم (٢٣). الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة

اسم الصخر	التركيب الكيميائي	النسيـــج	بيئة الترسيب
حجر الجير المتبلور Crystalline L.S.		خشن إلى متوسط الحبيبات	مياه بحرية أو بحيـرات
حجر الجير البطروخي (السرئي) Oolitic L.S.		تجمعات من البطارخ	مياه بحرية ضحلة أو بحيرات
حجر الجير الأحفوري Fossiliferous L.S.	كالسيـت $CaCO_3$	تجمعات من صدفات الأحافير على أرضية من كربونات الكالسيوم	مياه بحرية
ترافرتين (سنتركلسي) Travertine (Calc. Sinter)		دقيق إلى متوسط الحبيبات	حول الينابيع الحارة (قاري)
ستالاكتايت (هوابط) Stalactite		خشن إلى دقيق الحبيبـات	سقوف الكهوف (قاري)
ستالاجمايت (صواعد) Stalagmite		خشن إلى دقيق الحبيبـات	أرضيات الكهوف (قاري)
دولوميت Dolomite	دولوميت $CaMg(CO_3)_2$	خشن إلى متوسط الحبيبات وأحيانا في هيئة بلورات معينة واضحة	مياه بحرية أو بالإحلال في حجر الجير على القارات

ثالثا ـ الصخور العضوية النشأة
Organically Formed Rocks

هي تلك الصخور التي لعبت الكائنات الحية دورًا في تكوينها، وهي نتيجة لتراكم مواد عضوية خلفتها أنواع الحياة المختلفة (نباتية ـ حيوانية)، فتراكمت تلك المخلفات في هيئة طبقات سميكة متماسكة منتجة ما يعرف بالصخور الرسوبية العضوية. وتعتبر عمليات التحلل بواسطة البكتريا والفطريات خلال الأزمنة الجيولوجية الطويلة، وكذا عمليات تفحم البقايا النباتية، وثقل الرواسب التي تعلو المخلفات من العوامل المهمة التي أدت إلى تصلب تلك الصخور العضوية وتكونها.

وتنقسم الصخور العضوية النشأة إلى مجموعتين رئيستين هما:

١ ـ صخور *(حيوانية النشأة)* *Animal Origin* وتشمل:

أ) صخور عضوية حيوانية *جيرية*: ومن أمثلتها:

الطباشير Chalk ـ والحجر الجيري المرجاني Coral limestone ، فالأول يتكون من تراكم هياكل الحيوانات البحرية الأولية (المنخريات Foraminifera)؛ وهو ناعم الملمس ويتفاعل مع الحمض المخفف (HCl) بشدة. بينما نتج الثاني عن تراكم أصداف هياكل الكائنات البحرية المكونة من كربونات الكالسيوم الجيدة التماسك. أما المصطلح كوكينا Coquina ، فيطلق على جميع الصخور التي تتكون كليا من بقايا الأصداف البحرية المكونة أيضا من كربونات الكالسيوم، وتكون ذات مظهر مسامي وضعيفة التماسك.

حجر الجير المرجاني (Mondadori, 1983)

ب) صخور عضوية حيوانية *فوسفاتية*: ومن أمثلتها:

صخر الجوانو Guano ، ويتكون من تراكم إفرازات وإخراجات بعض الطيور البحرية، وله رائحة نفّادة.. أما الصخور التي تتكون نتيجة لتكدس وتفاعل وتحلل عظام وهياكل الأسماك والزواحف البحرية وهياكلها وما يؤدي إليه ذلك من تراكم لفوسفات الكالسيوم وتكوين صخور الفوسفات Phosphate rocks ، فهي توجد في هيئة طبقات عدسية وأحيانًا درنات.

ج) صخور عضوية حيوانية *سيليسية* ومن أمثلتها:

الرواسب الراديولارية Radiolarian deposits ، وهي صخور تكونت نتيجة لتصلد هياكل حيوانات دقيقة تعرف بالراديولاريا Radiolaria تتكون من السيليكا. ويتم ترسيب هذا النوع عادة في المياه البحرية العميقة.

٢ - صخور *(نباتية النشأة)* ***Plant Origin*** ومن أمثلتها:

البيت Peat ويعتبر من أردأ أنواع رسوبيات الفحم ولونه بني أو بني مسود، ليفي المظهر رديء التماسك تكون نتيجة التحلل الجزئي للنباتات مع عمليات الدفن. أما صخور اللجنيت Lignite والأنثراسيت Anthracite فهذه رتب مختلفة للفحم تتفاوت فيها نسب الكربون التي هي على التوالي (٥٥ - ٧٢٪) و(٩٣ - ٩٨٪)، ويعتبر الأخير من أجود أنواع الفحم الحجري ويوجد في هيئة كتل صلبة. أما الأول فله مظهر ليفي متوسط الصلابة.



صخر البيت (Mondadori, 1983)



صخر الأنثراسايت (Mondadori, 1983)

وصف بعض الصخور عضوية النشأة

عند محاولة وصف أي عينة منها يجب معالجة التالي :

١ ـ تحديد ما إذا كانت العينة نباتية أو حيوانية .

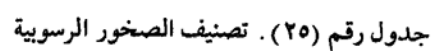
٢ ـ التعرف على نوع بقايا الكائنات الحية المكونة للعينة (أصداف مجهرية ـ قطع من أصداف كبيرة ـ بقايا نباتات . . الخ) .

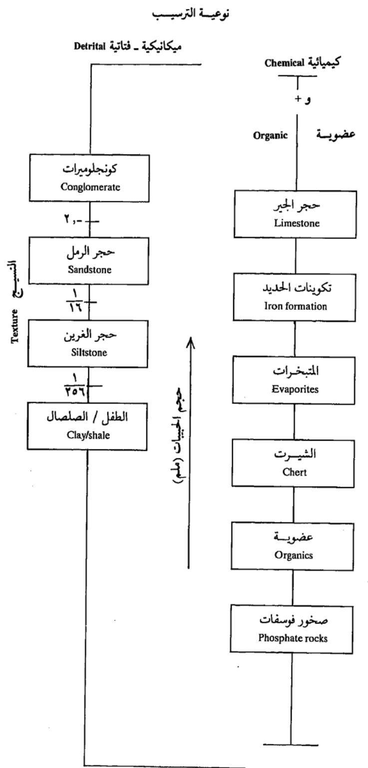
٣ ـ تحديد التركيب المعدني (سيليسية ـ كلسية ـ كربونية ـ فوسفاتية . . الخ) .

٤ ـ إعطاء فكرة مبسطة عن الكيفية التي تكون بها الصخر المأخوذة منه العينة .

جدول رقم (٢٤) . الصخور الرسوبية العضوية النشأة

نوع الصخر	اسم الصخر	التركيب الكيميائي	النسيج	بيئة الترسيب
رسوبيات حيوانية Animal Deposits	طباشير Chalk	كالسيت $CaCO_3$	أصداف ميكروسكوبية (عادة فورامنيفرا)	بحرية عميقة
	حجر الجير المرجاني Coral limestone	كالسيت $CaCO_3$	هياكل مرجانية جيدة التسمت	بحرية ضحلة إلى متوسط العمق
	كوكينا Coquina	كالسيت $CaCO_3$	أصداف وقطع صدفية ضعيفة التسمت	بحرية ضحلة
	صخور الفوسفات Phosphate rocks	فوسفات كالسيوم $Ca_5(PO_4)_3Cl,F$	عظام وهياكل الأسماك والزواحف مختلطة مع مواد فتاتية	بحرية
	جوانو ـ كوبروليت Guano	مواد عضوية معقدة التركيب	إفرازات الطيور	قارية
	رسوبيات راديولارية Radiolarian Ooze	سيليكا SiO_2	هياكل الراديولاريا الضعيفة التسمت	بحرية عميقة
رسوبيات نباتية Plant Deposits	بيت (خث) Peat	كربون ٥٥٪ + ألياف خشنة	ليفي هش	قارية
	لجنيت Lignite	كربون ٥٥٪ ـ ٧٢٪ + ألياف خشبية	ليفي متوسط الصلابة	قارية
	أنثراسيت Anthrasite	كربون ٩٣ ـ ٩٨٪	كتلي صلب	قارية


جدول رقم (٢٥) . تصنيف الصخور الرسوبية



الصخور المتحولة
Metamorphic Rocks

تتكون الصخور المتحولة نتيجة تأثير كل من الضغط والحرارة مع بخار الماء على الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة. ويعرف التحول بأنه مجموعة من العمليات الجيولوجية التي أدت إلى تحول الصخور أو معادنها من حالتها الأساسية إلى حالتها الحاضرة؛ أي أنه عبارة عن تجاوب الصخور للتأثير المشترك للعوامل الثلاثة (الضغط ـ الحرارة ـ السوائل) مجتمعة أو منفردة.. ولكن في كثير من الأحيان يصبح الفصل بين تأثير كل من الضغط والحرارة في الصخور أمرًا عسيرًا.. ويمكن القول إن عملية التحول هي في الواقع انعكاس لحالة الاتزان الجديدة التي انتهى إليها الصخر.

أولاً: عوامل التحول الرئيسة
Main Metamorphic Factors

١ ـ *الحرارة* *Temperature*

تعتبر الحرارة عاملاً مهمًا من عوامل التحول والزيادة في درجة الحرارة. ويمكن أن تؤدي إلى تبلور بعض المعادن المكونة للصخر أو انصهار الصخر كليا ثم تبلوره مع البرودة ثانية منتجا صخرًا متحولاً آخر له صفات جديدة من حيث تركيبه المعدني أو نسيجه. وتتراوح درجة حرارة التحول ما بين ٢٠٠ ـ ٧٥٠°م وأهم مصادرها هي: حرارة الدفن ـ حرارة البراكين المحلية ـ حرارة الأجسام النارية المتداخلة ـ حرارة الاحتكاك ـ حرارة المواد المشعة.

٢ ـ *الضغط* *Pressure*

الارتفاع في الضغط يكون نتيجة الدفن تحت وزن صخور الغطاء أو بسبب الحركات البنائية.. فنجد مثلاً أن حبيبات الصخر تعيد تنظيم نفسها في اتجاه عمودي على اتجاه الضغط، وقد تعيد بعض المعادن تبلورها. والضغط إما أن يكون موجهًا Directed pressure ، وهو الواقع على الأجزاء العليا من القشرة الأرضية، أو يكون ضغطًا منتظمًا Balanced pressure ، وهو المؤثر على الأجزاء السفلى من القشرة. كما يسمى الأول بالضغط الديناميكي Dynamic والأخير بالضغط الاستاتيكي Static.

٣ ـ *السوائل (المحاليل الكيميائية)* *Fluids*

تلعب السوائل والأبخرة والغازات دورًا مهمًا جدًا وخصوصًا في إعادة تبلور المعادن. ويعتبر الماء من أكثر المحاليل شيوعًا لأنه يلعب دورًا

رئيسًا في إتمام عمليات التحول، وقد يكون وسيلة لنقل بعض العناصر من الصهير إلى الصخور المجاورة أي يكون مادة حاملة لبعض الغازات المتبقية من الصهير. وقد يكون الماء صهيريًّا أو ماءً محبوسًا بين الفراغات والمسام في الصخر، أو ماءً ناتجًا عن فقدان بعض المعادن للماء التركيبي فيها.

ثانيًا: عمليات التحول Processes of Metamorphism

والعمليات التي تحدث في الصخر وتؤدي إلى تحوله معقدة جدًّا ويمكن تلخيصها في التالي:

١ - *إعادة الاتحاد الكيميائي* ***Chemical recombination***

وبهذه العملية يتم نمو معادن جديدة من المكونات الكيميائية للمعادن نفسها الموجودة في الصخر الأصلي، وتكون هذه المعادن أكثر ثباتًا تحت الظروف الجديدة من الضغط والحرارة. كما نلاحظ أن المحاليل المائية التي تتخلل الفجوات لها دور كبير في تيسير تحرك الأيونات Mobilization of ions. وبذلك تتم إعادة الاتحاد الكيميائي للعناصر الموجودة في الصخور وإعادة تبلورها، أو يحدث استبدال كيميائي فتستبدل بعض العناصر أماكنها بأماكن عناصر أخرى تدخل في البناء البلوري للمعادن الموجودة بالصخر قبل أن يتحول.

٢ - *التشويه الميكانيكي* ***Mechanical deformation***

من المعروف أن زيادة الضغط في اتجاهين متضادين تؤدي إلى عملية طي وتصدع وقص Shearing وطحن للصخر الموجود على جانبي الصدع. وهنا تعمل الزيادة في الضغط على إعادة ترتيب المعادن الصفائحية أو المنشورية أو المسطحة (الميكا) في اتجاه عمودي على اتجاه الضغط السائد. وقد يكون هذا الاتجاه غير مواز لاتجاه مستوى التطابق للصخر الأصلي.

٣ - *الانصهار الجزئي* ***Differential melting***

مع زيادة درجة الحرارة تنصهر بعض مكونات الصخر. وعندما تبرد تعطي للصخر النسيج المبقع Spotted ، كما نلاحظ في بعض أنواع صخر الهورنفلس Hornfels.

٤ - *إعادة التبلور* ***Re-crystallization***

وتحدث عملية إعادة تبلور الصخر نتيجة الانصهار بفعل الحرارة ثم البرودة، وقد ينتج عن ذلك تكون بلورات كبيرة على حساب البلورات

الصغـيرة المـوجـودة في الصخر الأصلي قبل تحوله، ويزداد حجم هذه البلورات كلما زادت درجة التحول.

ثالثًا: أنـواع التحـول
Types of Metamorphism

هناك ثلاثة أنواع رئيسة للتحول هي:

١ ـ *التحول بالتلامس «الحراري»* *Contact "thermal" metamorphism*

ويتم هذا التحـول بجوار المتداخلات النارية تحت تأثير الارتفاع الشديد في درجة الحرارة، أي أن عامل التحول السائد هو الحرارة علاوة على الغازات والسوائل الخارجة من المتدخلة. . ومن أمثلة هذا النوع من التحول ـ صخرا الهورنفلس Hornfels *والرخام* Marble.

جدول رقم (٢٦). أصل بعض أنواع الصخور المتحولة ونوع عملية التحول

الصخر المتحول		نوع التحول	اسم الصخر الأصلي
الأردواز	Slate	إقليمي ـ منخفض	الطفل ـ الرماد البركاني
الفيللايت	Phyllite	إقليمي ـ تحت متوسط	الطفل ـ الأردواز ـ خليط من صخور نارية متحولة رسوبية
الشيست	Schist	إقليمي ـ متوسط	الطفل ـ الحجر الجيري والرملي ـ الفيللايت
النيس	Gneiss	إقليمي ـ مرتفع	خليط من صخور نارية متحولة رسوبية كونجلوميرات ـ الجرانيت
كوارتزيت	Quartzite	حراري	صخور رسوبية (حجر الرمل)
هورنفلس	Hornfels	حراري	خليط من صخور نارية متحولة ـ رسوبية ـ الصلصال ـ البازلت
الرخام	Marble	حراري	صخر الجير والدولومايت

٢ ـ *التحول الإقليمي* *Regional metamorphism*

يتم هذا التحـول تحت التـأثير المشترك لكل من الضغط والحرارة ويحدث ذلك ببطء شديد ويؤثر على مساحات شاسعة. ويظهر تأثير هذا التحول في التركيب المعدني، وكذلك في النسيج الصخري الذي يتغير ليلائم الظروف الجديدة، كما نلاحظ هنا أن تأثير الضغط أكثر أهمية من تأثير الحرارة. ومن أمثلة هذا النوع من التحول ـ صخرا النيس Gneiss والشيست Schist.

٣ ـ التحول الديناميكي *Dynamic metamorphism*

ويتم هذا التحول تحت تأثير الضغط الشديد المصاحب للحركات البنائية كالطي والتصدع في نسيج الصخر المتحول عن بريشيا الصدوع Fault Breccia.

رابعًا: تصنيف الصخور المتحولة Classification of Metamorphic Rocks

في الدراسة العملية، يفضل التصنيف المعتمد على البنية والنسيج، ووفقا لذلك تنقسم الصخور المتحولة إلى قسمين هما:

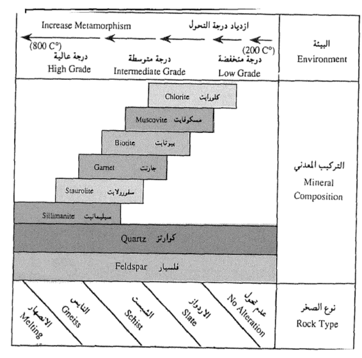
١ ـ الصخور المتحولة المتورقة *Foliated metamorphic rocks*

وهي عبارة عن صخور نجد معادنها قد تم توجيهها لتترتب في اتجاهات عمودية على اتجاه الضغط الذي كان واقعا عليها.. فتظهر المعادن وقد تم تسطحها أو ترتيبها في هيئة مصفوفة Banding، أو متورقة Foliation صفائحية متوازية متصلة أو منفصلة، ومن أمثلتها صخور الأردواز Slate، والشيست Schist، والنايس Gneiss.

٢ ـ الصخور المتحولة غير المتورقة *Non-foliated metamorphic rocks*

وهي عبارة عن صخور كتلية ذات معادن غير موجهة، ولها نسيج حبيبي كثيف، ولا تظهر بها أي علامات للتورق أو التصفح أو التطبق؛ ومن أمثلتها صخرا الكوارتزيت Quartzite والرخام Marble.

جدول رقم (٢٧). مراحل تغير المعادن نتيجة لعملية تحول الطفل



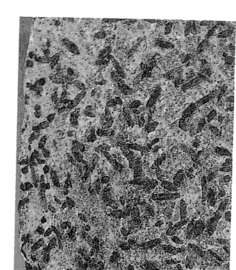
جدول رقم (٢٨). تقسيم الصخور المتحولة

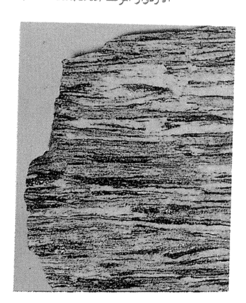
أ) الصخور المتورقة **Foliated Rocks**

اسم الصخر	التركيب المعدني	النسيج		
Slate الاردواز	كلورايت Chlorite، ميكا Mica، كوارتز Quartz	حبيبات دقيقة جدا Very fine grained	غير متطبق Non-layered	حبيبات موجهة Oriented grains
Phyllite الفيللايت	كلورايت Chlorite، ميكا Mica، كوارتز Quartz، فلسبار Feldspar، أمفيبول Amphibole	حبيبات دقيقة Fine grained		
Schist الشيست	ميكا Mica، كوارتز Quartz، فلسبار Feldspar، أمفيبول Amphibole، بيروكسين Pyroxene	حبيبات كبيرة Coarse grained		
Gneiss النايس	كوارتز Quartz، فلسبار Feldspar، أمفيبول Amphibole، بيروكسين Pyroxene	حبيبات كبيرة Coarse grained	متطبق Layered	

ب) الصخور غير المتورقة **Non-Foliated Rocks**

اسم الصخر	التركيب المعدني	النسيج
ميتاكونجلوميرات Metaconglomerate	قطع صخرية مشوهة لأي نوع من الصخور Deformed fragment of any rocks	حبيبات كبيرة Coarse grained
كوارتزايت Quartzite	Quartz كوارتز	Fine to coarse grained
الرخام Marble	Calcite or Dolomite كالسيت أو دولومايت	دقيق ـ خشن الحبيبات Fine to coarse grained
الهورنفلس Hornfels	فلسبار ـ ميكا ـ أولفين ـ هورنبلند ـ جارنت ـ كوارتز Feldspar, Mica, Olivine, Hornblende, Granit. Quartz	دقيق جدا ـ دقيق الحبيبات Very fine grained


الاردواز المرقط (Mondadori, 1983)


النايس (Mondadori, 1983)

وصف بعض الصخور المتحولة

عند وصف أي صخر متحول يجب مراعاة التالي:

١ ـ نوع التحول (حراري ـ إقليمي ـ ميكانيكي) والدلائل عليه، وهي على التوالي: معادن غير موجهة ـ معادن موجهة ـ أو صخور مكسرة ومطحونة.

٢ ـ نسيج الصخر (حجم الحبيبات: دقيقة ـ متوسطة ـ كبيرة).

٣ ـ الصخر الأصلي الذي تحول عنه (رسوبي ـ متحول ـ ناري).

٤ ـ المكونات المعدنية.

٥ ـ رتبة التحول (منخفضة ـ متوسطة ـ مرتفعة) والدلائل عليها، وهي على التوالي: وجود معادن الكلورايت أو الجارنت ـ أو السليمانايت.

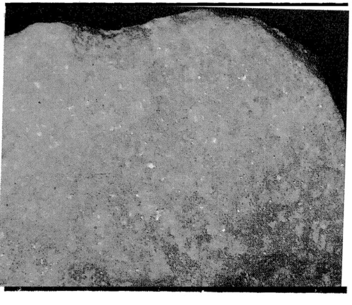
٦ ـ الاسم المقترح للصخر.

١ ـ *الأردواز Slate*

صخر متحول بفعل الضغط الشديد والحرارة المنخفضة نسبيا (إقليمي)، متورق ومتميز بنسيج دقيق الحبيبات، ومكون من كلورايت وميكا وكوارتز نتج عن الصخور الرسوبية (الطفل).

٢ ـ *الرخام Marble*

عبارة عن صخر متحول حراريا، كتلي غير متورق، ويمتاز عموما بنسيج حبيبي يتراوح ما بين الخشن والدقيق، مكون من كالسيت وأحيانا دولومايت، ونتج من الصخور الكلسية أو الدولوماتية النقية نسبيا.


الرخام (Mondadori, 1983)

جدول رقم (٢٩) جدول مبسط للتعرف مبدئيًا على الصخور الشائعة

- متطبق؟ بـه فصل؟ به أحافير؟ به معادن تميز الحرارة المنخفضة؟
  - نعم ← صخر رسوبي ← حبيبات مستديرة بها فصل؟
    - نعم ← فتاتي
      - خشن ← Conglomerate كونجلوميرات
      - متوسط ← Sandstone حجر رملي
      - دقيق ← Shale طفل
    - لا ← نسيج متبلور
      - كيميائي
        - Limestone dolomite حجر جيري - دلوميت
        - Evaporite تبخريات
        - Chert شرت
      - حيوي كيميائي
        - Coal فحم
        - Iron Formation تكوينات الحديد
  - لا ↓
- متورق؟ انفصام اردوازي؟ معادن جديدة تقطع أخرى قديمة؟ مجاور لمتداخل ناري؟
  - نعم ← صخر متحول ← نوع التورق؟ المعادن المميزة؟ حجم الحبيبات؟
    - دقيق - غير متورق ← Hornfels هورنفلس
    - أحادي المعادن
      - Marble رخام
      - Quartzite كوارتزايت
      - Amphibolite أمفيبوليت
    - متورق
      - دقيق ← Slate اردواز
      - متوسط ← Schist شست
      - خشن ← Gneiss نيس
    - خشن التحبب - غير متورق ← Cranulite جرانيوليت
  - لا ↓
- متداخل؟ تراكيب فيوض اللابة؟ زجاج أو خطوط تلامس بها تأثير حراري؟
  - نعم ← صخر ناري
    - خشن التحبب ← متداخلات جوفية
      - بها فلسبار بوتاسي ← Granite جرانيت
      - Grandiorite جرانوديورايت
      - Diorite دايورايت
      - Gabbro جابرو
      - Periodotite بريدوتيت
      - مكونة من أوليفين؟ ← Donite دونيت
    - دقيق التحبب ← فيوض بركانية ومصاحباتها
      - طفوح
        - Rhyolite رايوليت
        - Dacite داسيت
        - Andesite انديزيت
        - Basalt بازلت
        - زجاج فقط ← Obsidian اوبسيديان
      - فتاتي بركاني
        - رماد
        - طف

المراجع

أولا: المراجع العربية

التركي، خالد إبراهيم وأبو صقر، محمد محمود (١٩٧٥م). *علم الأرض (عملي)*، دار الكتاب الجامعي، الرياض.

حسن، محمد يوسف شريف، عمر حسين، النقاش، عدنان باقر (١٩٨٧م). *أساسيات علم الجيولوجيا*، جون وايلي وأولاده، لندن.

حلمي، محمد عز الدين (١٩٧٤م). *علم المعادن*، ط٣، مكتبة الأنجلو المصرية، ج.م.ع.

رادين، عبدالعزيز عبدالملك وعبدالقادر، عبدالعزيز (١٩٨٥م). *الجيولوجيا العملية*، تهامة للنشر، جدة.

ثانيا: المراجع الإنجليزية

Berry, L.G. *et al.* (1983). *Mineralogy.* Freman & Co., New York.

Dietrich, R.V. and Wicander, R. (1983). *Minerals, Rocks & Fossils.* John Wiley & Sons, New York.

Desautels, P.E. (1974). *Rocks & Minerals.* Hamlyn Publishing Group Ltd, London.

Medenbach, O. and Wilk, H. (1986) *The Magic of Minerals.* Springer-Verlag, Berlin.

Mondadori, A. (ed.) (1983). *The Macdonald Encyclopedia of Rocks & Minerals.* Macdonald & Co. Ltd. London.

Press, F. and Siever, R. (1986) *Earth.* Freeman & Co., New York.

Simpson, B. (1983) *Rocks & Minerals.* Pergaman Press, Oxford.

Tarbuck, E. J. and Butgens, F.K. (1984) *The Earth.* Merrill Publication Co., London.



كشاف المصطلحات

(عربي - إنجليزي)



ب

ث





ل

م

(إنجليزي - عربي)

A

English	عربي
Accessories 68	معادن إضافية
Acidic rocks 69	صخور حمضية
Adamantine luster 34, 37, 41	بريق ماسي
Agate 9	عقيق
Albite 36, 41, 51, 69	الألبايت
Alkaline taste 22	مذاق قلوي
Allochromatic 8	اللوكروماتيك (متعددة الألوان)
Alteration products 74	نواتج التحلل الثانوية
Aluminum 1, 52	الألومنيوم
Amblygonite 52	امبلوجونيت
Amethyst 7	أماثيست
Amphiboles 34, 66, 67, 96	الأمفيبول
Amygdaloidal texture 71	النسيج اللوزي
Anatase 74	أناتيز
Andalusite 33, 40, 49	الأندالوسايت
Andesite 66, 67, 71,72	الأنديزايت
Anglesite 54	انجلسيت
Angular 76	زاوية
Anhydrite 29, 41, 47, 52, 81	الانهيدرايت
Anorthite 36, 51	الأنورثايت
Anthracite 59, 85, 86	الأنثراسيت
Antimony 39, 52	الأنتيمون
Apatite 16, 25, 29, 31, 40, 48, 52	الأباتيت
Aphanitic texture 63, 65, 70	نسيج دقيق الحبيبات
Aragonite 5, 30, 32, 40, 47, 52	أراجونايت
Argentite 55	أرجنتيت
Argillaceous odour 22, 80	الرائحة الطينية
Arkose 77, 80	أركوز
Arsenic 28, 38, 52	الزرنيخ
Arsenopyrite 22, 24, 30, 39, 49, 53	الأرزينوبايرايت
Atomic radiation 25	الاشعاع الذري
Augite 41, 51, 71	أوجايت
Average specific gr. 24	ثقل نوعي متوسط
Azurite 11, 31, 40, 47, 53	أزورايت

B

English	عربي
Balanced pressure 88	ضغط منتظم
Banding 91	مصفوفة
Barite 24, 29, 39, 48, 52	البارايت

D

E

F

G

H

I

J

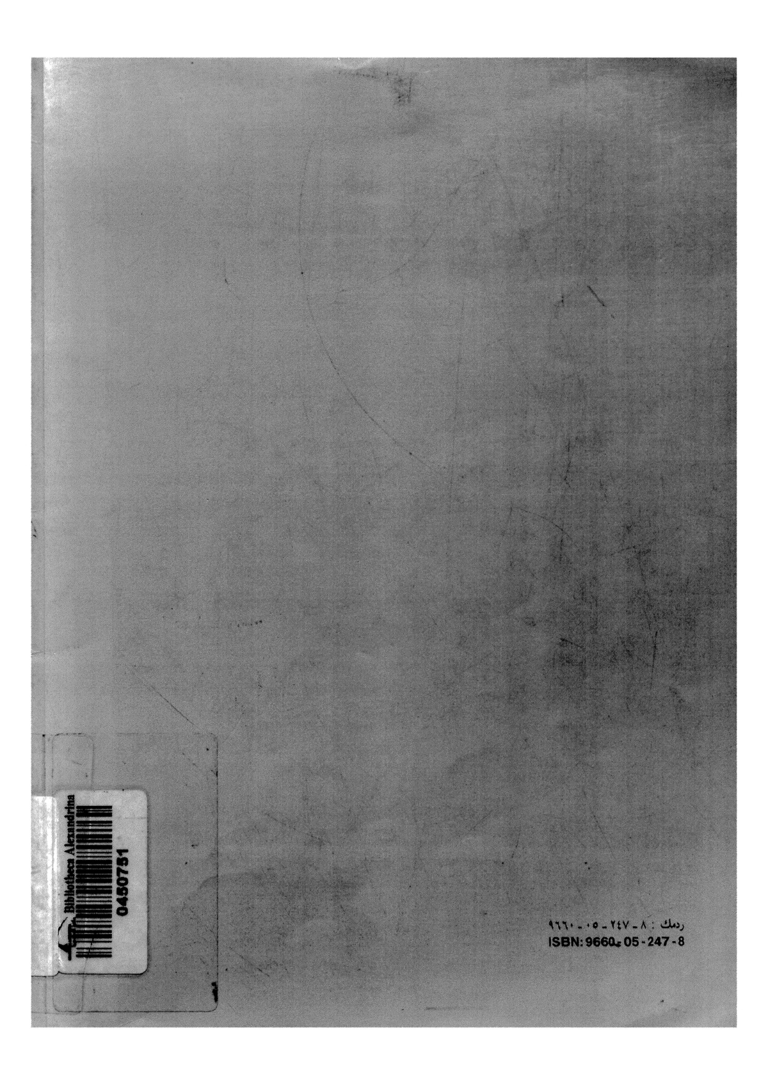
K

L

M

O

P


Bibliotheca Alexandrina
0450751
ردمك : ٨ ـ ٢٤٧ ـ ٠٥ ـ ٩٦٦٠
ISBN: 9660 - 05 - 247 - 8